

Санкт-Петербургский государственный университет

**Павлов Эмиль Игоревич**

Выпускная квалификационная работа магистра

**Анализ прочностных и деформационных характеристик грунтов, полученных полевым  
и лабораторными методами (на примере инженерно-геологического разреза г Санкт-  
Петербурга)**

Основная образовательная программа магистратуры  
«Геология»

Научный руководитель: к.г.-м.

ст. преп. А.А. Еремеева

Рецензент: Семенов В.С.

Санкт Петербург  
2018

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 1. 1.   Физико-географический очерк города Санкт-Петербурга.....	4
Рельеф.....	4
Климат.....	6
Гидрография. ....	7
Глава 1. 2.   Особенности геологического строения города Санкт-Петербурга.....	9
Глава 2.   Методы лабораторного и полевого определения физических и механических свойств грунтов. ....	29
Методы лабораторного изучения грунтов. ....	29
Методы полевого изучения грунтов.....	42
Глава 3.   Анализ результатов инженерно-геологических изысканий. ....	49
Список литературы. ....	75

## **Введение.**

В связи со сложностью инженерно-геологического строения Санкт-Петербурга и востребованностью региона в новых сооружениях как гражданского, так и производственного характера, для увеличения точности и темпов изыскательской деятельности все чаще используют полевые методы исследований грунтов. Самым популярным и востребованным полевым методом на территории Санкт-Петербурга является метод статического зондирования грунтов. Он сочетает в себе как быстроту проведения испытаний, достаточную точность, так и меньшую стоимость по сравнению с буровыми работами.

В работе выполнен анализ результатов инженерно-геологических изысканий на территории Санкт-Петербурга и ближайших пригородов, проанализированы физические, физико-механические свойства горных пород, полученные полевыми и лабораторными методами.

Целью работы является статистическая обработка результатов инженерных изысканий с 9 различных районов города, проведенных лично за последние годы работы в данной области.

Задачами работы являлись:

- расчет, сравнение и анализ данных физико-механических свойств грунтов, полученных лабораторными и полевым методом.
- выделение однотипных инженерно-геологических элементов на всех выбранных объектах и проведение их сравнительной характеристики.
- сравнение полученных характеристик свойства грунтов, полученных различными методами для одного и того же литологического слоя грунта.
- сделать выводы о достоверности методов определения физико-механических свойства грунтов.

## Глава 1.1. Физико-географический очерк города Санкт-Петербурга.

В административном отношении Санкт-Петербург является самостоятельным субъектом Российской Федерации в составе Северо-Западного федерального округа. Одновременно это центр Ленинградской области. Территория города расположена на Восточно-Европейской равнине, в устье реки Невы, охватывая южное и северное побережье Финского залива. Географическое положение города очень благоприятно для его экономического развития, здесь расположен самый крупный и современный порт Северо-Запада России, что обеспечивает тесные связи с зарубежьем. Город является также крупнейшим железнодорожным, автодорожным и авиационным узлом. В настоящее время территория Санкт-Петербурга подразделяется на 18 административных районов: Адмиралтейский, Василеостровский, Выборгский, Калининский, Кировский, Колпинский, Красногвардейский, Красносельский, Кронштадтский, Курортный, Московский, Невский, Петродворцовый, Петроградский, Приморский, Пушкинский, Фрунзенский, Центральный.

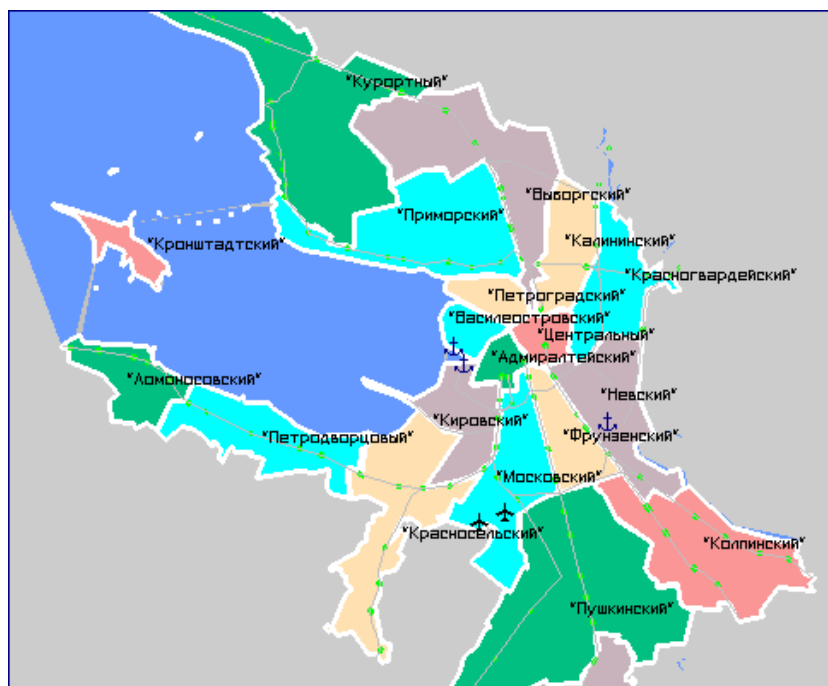


Рис. 1. Карта районов г. Санкт-Петербурга (Интернет-ресурс [www.gov.spb.ru](http://www.gov.spb.ru))

### Рельеф.

Геоморфологическое строение площади, занимаемой в настоящее время Санкт-Петербургом и прилежащими к нему участками дна акваторий, определяется устройством поверхности дочетвертичных образований, поздне- и послеледниковым рельефом, и рельефом современной поверхности, существенно преобразованным за счет комплексного техногенеза (Р.Э. Дашко, 2011). В первых двух случаях имеет место частично или полностью погребенный рельеф, а также рельеф, претерпевший трансформацию в ходе

геологического развития площади. Таким образом, основные геоморфологические элементы городской площади, представленные Приневской и Приморской низинами, связаны с рельефом дочетвертичного субстрата. Современный рельеф территории города сформировался под влиянием разнообразных геологических процессов, главными из которых являются процессы, связанные с эпохами оледенения и потепления. На территории Санкт-Петербурга насчитывается три эпохи оледенения и периодов потепления между ними. В послеледниковое время большое значение в развитии рельефа имеют денудационные и карстовые процессы, которые происходят на фоне поднятия земной коры.

Для территории современного Петербурга главным рельефообразующим фактором на протяжении длительного геологического времени является эрозионно-аккумулятивная деятельность водных потоков и водоёмов. Развитие рельефа тесно связано с эволюцией существовавших здесь морских и озёрных поздне- и послеледниковых бассейнов.

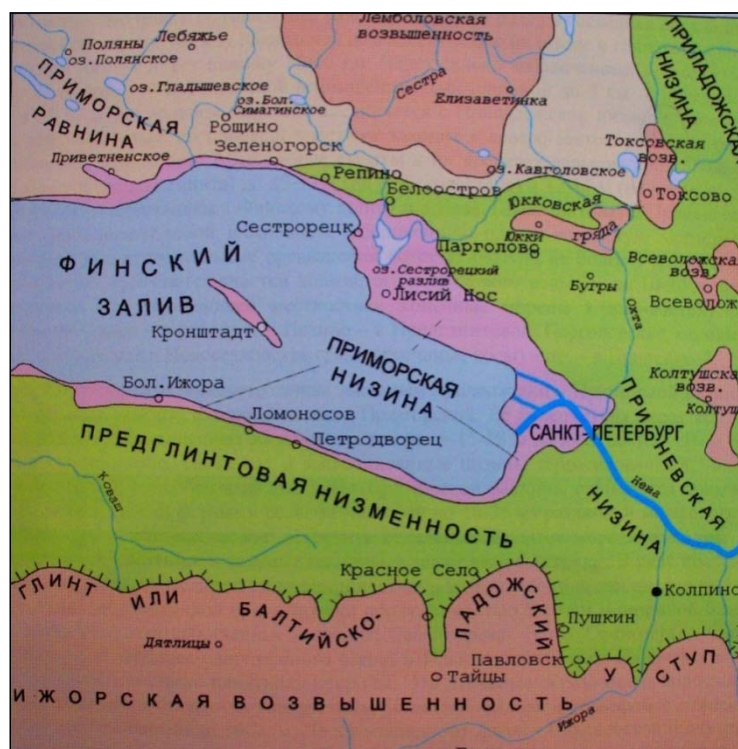


Рис.2. Орографическая схема Санкт-Петербурга и окрестностей. Масштаб 1:600 000

(Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009).

Последовательное понижение уровней водоёмов нашло отражение в террасированности рельефа Приневской и Приморской низин. Наиболее отчётливо выражены две террасы. Более высокая - озёрно-ледниковая терраса с абсолютными отметками до 60-65 м. Ее поверхность осложнена камовыми холмами и грядами. Относительные высоты этих возвышенностей составляют 5-50 м. Низкий уровень

соответствует литориновой террасе, окаймляющей Финский залив. Ширина этой террасы незначительна, и лишь к северо-востоку и востоку от Сестрорецка достигает 8 км. Абсолютные отметки изменяются от уровня моря до 10-16 м. пляж имеет ширину от 20 до 200 м. Террасы разделены на большом протяжении хорошо выраженным в рельефе уступом, который часто сnivelирован эрозионными и техногенными процессами (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009).

Северная и восточная границы города проходят по окраине моренной возвышенности, занимающей центральную часть Карельского перешейка. Здесь рельеф образован формами ледниковой и водно-ледниковой аккумуляции: чередованием холмов, камов, озёр и заливных равнин с понижениями, занятыми озёрами и болотами, а также неглубокими речными долинами.

Рельеф центральной части города, расположенной в устье р. Невы, во многом утратил естественные черты: в настоящее время на большей части центра сформировался техногенный рельеф из намывных и насыпных грунтов. Мощность намывных и насыпных грунтов достигает десятка метров, засыпаны водоёмы и многие долины рек. В настоящее время начаты масштабные работы по формированию морского фасада города: засыпаются и намываются значительные площади в акватории Финского залива, изменяется береговая линия.

Южная граница города проходит вдоль Балтийско-Ладожского уступа (глинта), который ограничивает Ижорскую возвышенность. В пределах города Ижорская возвышенность и, частично, Балтийско-Ладожский уступ встречаются в Красносельском районе. Поверхность возвышенности плоская с абсолютными отметками до 65 - 75 м (Пулковские высоты). Балтийско-Ладожский уступ хорошо выражен в рельефе, относительная его высота достигает 25-30 м, часто он расчленён глубоко врезаемыми узкими долинами рек и ручьёв. Встречаются карстовые формы рельефа в виде воронок. (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009)

### **Климат.**

Климат Санкт-Петербурга в целом переходный от континентального к морскому, что обусловлено взаимодействием морских и континентальных воздушных масс умеренных и арктических широт - частыми вхождениями арктического воздуха и активной циклонической деятельностью. Характерны относительно мягкая зима и умеренно тёплое влажное лето, высокая относительная влажность воздуха, ветреная погода и большая облачность в течение года. Осень теплее весны ввиду преобладания южных и юго-западных ветров, приносящих тепло из Атлантики. Весной преобладают

северные холодные ветры. Интенсивная циклоническая деятельность и частая смена воздушных масс обуславливает крайне неустойчивую погоду во все сезоны.

Годовая норма осадков составляет от 700 мм на побережье Финского залива до 750 мм при удалении от него. Внутригодовое распределение осадков неравномерное: за тёплый период (апрель-октябрь) выпадает 60-65 % общего количества осадков. Относительная влажность воздуха большую часть года превышает 80 %, часто составляя в ноябре-январе - 90%, в связи с чем испарение с поверхности не превышает 300 мм. (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009)

### **Гидрография.**

Поверхностные воды и, прежде всего, Финский залив, Невская губа и р. Нева на протяжении всего исторического развития формировали и определяли современный облик Санкт-Петербурга.

Финский залив в пределах города неглубокий, глубина его 2,5 - 6 м, а в береговой полосе - до 1м. Восточная часть Финского залива от дельты р.Невы до острова Котлин - Невская губа - с остальной частью Финского залива сообщается через Северные и Южные Ворота комплекса защитных сооружений (КЗС). Для прохода судов по дну Невской губы проложен морской канал и фарватеры. Солёность воды в Невской губе не превышает 2%, что объясняется большим притоком воды из рек, особенно из Невы. В Финском заливе часты штормы, особенно осенью в период сильных циклонов.

Среди многочисленных озёр на территории города из наиболее крупных следует упомянуть Суздальские озёра, расположенные непосредственно в городе, а также оз. Щучье вблизи г. Зеленогорска. Эти озёра имеют естественное происхождение. Другие - Лахтинский и Сестрорецкий Разливы - имеют техногенное происхождение и образовались при зарегулировании рек Сестры и Каменки. Искусственные водоёмы представлены многочисленными прудами и карьерами на нижней террасе, где они питаются водами родников на склонах и у подножия литоринового уступа. (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009)

Речная сеть города густая и разветвлённая. Она представлена небольшими реками и многочисленными ручьями, часть которых была спрямлена и канализована при городском строительстве. Главная речная артерия города - р. Нева, по существу представляет собой озерную протоку общей длиной 74 км из них 32 км в черте города. Нева играет огромную роль для Санкт-Петербурга. На начальных этапах строительства вокруг неё формировался облик столицы: большие глубины позволяли морским судам

заходить в её устье. Река является основным источником водоснабжения города. Через Неву в Финский залив поступает вода с огромной площади всего бассейна Ладожского озера (281 тысяча км<sup>2</sup>). На этой территории количество осадков значительно превышает испарение, поэтому Нева исключительно многоводна: годовой расход воды - 77 км<sup>3</sup>. Преобладающая её глубина - 8- 11 м, наибольшая - 26 м у Литейного моста. На территории города Нева образует псевдodelьту с многочисленными протоками и островами. (Р.Э. Дашко,2011).

Вследствие равномерного стока воды из Ладожского озера в течение года, Нева почти не имеет ни весеннего подъёма воды, ни паводков, связанных с выпадением осадков. Однако осенью в устье Невы обычно бывают большие подъёмы воды, связанные с сильными западными циклоническими ветрами. Вода в реке поднимается практически ежегодно, иногда бывают сильные наводнения. Так, во время наиболее разрушительного наводнения в ноябре 1824 года вода в Неве поднялась на 421 см выше нормального уровня.

Река Нева в пределах города принимает ряд рек и ручьёв. Наиболее крупные из них: северные притоки - р. Охта и р. Чёрная, южный - р. Ижора, однако в питании Невы существенной роли они не играют. (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009)

Речная сеть остальной части города представлена небольшими реками и ручьями, непосредственно впадающими в Финский залив. В северной части самые значительные из рек, Сестра, Каменка и Рощинка, берут начало в крупных болотах Ленинградской области. Реки южной части, наиболее крупные из которых Стрелка, Караста, Дудергофка, Пулковка, берут начало из многочисленных родников вдоль Балтийско-Ладожского уступа и питаются подземными водами. (Р.Э. Дашко,2011)



## Глава 1.2. Особенности геологического строения города Санкт-Петербурга.

Территория Санкт-Петербурга располагается в пределах северо-западной части крупной региональной структуры – Русской плиты которая имеет двухэтажное строение. Нижний этаж (фундамент) сложен кристаллическими породами самого древнего архей-протерозойского возраста (AR-PR) – это граниты, гнейсы, диориты и другие магматические и метаморфические породы. (рис. 1). В пределах города породы фундамента залегают на достаточно большой глубине 180-240 м, реже глубже, и в качестве среды размещения подземных сооружений в настоящее время не рассматриваются. Кристаллический фундамент перекрыт отложениями осадочного чехла, которые составляют верхний этаж плиты. Осадочный чехол представлен отложениями, различающимися по возрасту, генезису, составу, состоянию и свойствам, что определяет различный подход к их инженерно-геологической оценке и, соответственно, к оценке устойчивости пород в подземных выработках. (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009)

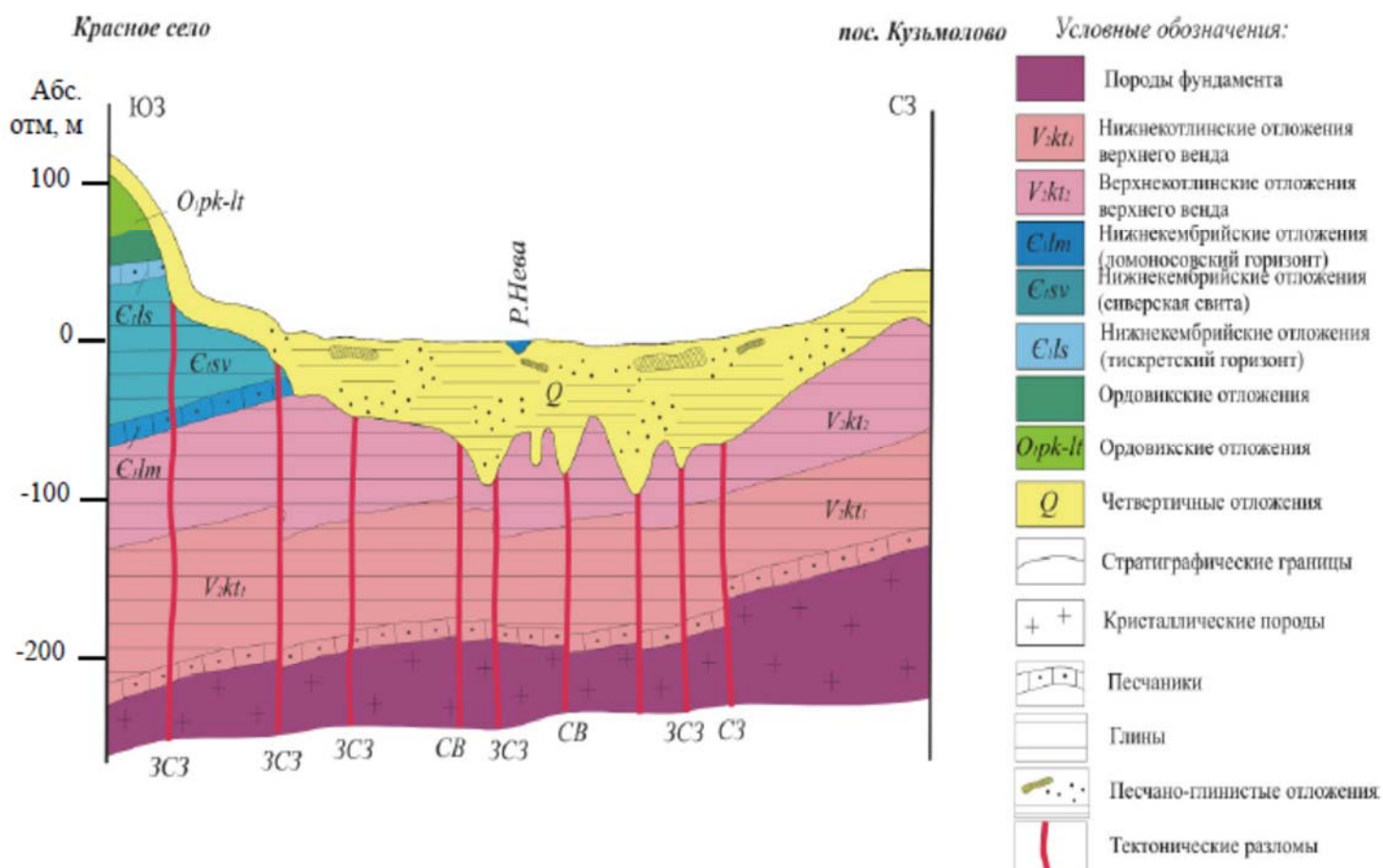


Рис.3. Схематический геолого-литологический разрез Санкт-Петербурга с элементами тектоники (Р.Э. Дашко, 2011).

В разрезе осадочного чехла необходимо выделять две толщи отложений – верхнюю и нижнюю. (см. рис. 3). Верхняя толща состоит из песчано-глинистых грунтов четвертичного возраста Q (390 тыс. лет и моложе), происхождение которых связано с тремя ледниковыми, двумя межледниковыми, позднеледниковым и послеледниковым периодами в геологической истории развития рассматриваемой территории. Это самые молодые и наиболее слабые отложения в разрезе осадочного чехла. Мощность четвертичной толщи зависит от подземного рельефа кровли нижней толщи, которая имеет большой перепад абсолютных отметок за счет размыва пород дочетвертичного возраста палеореками с высокими скоростями их течения, происходившего с начала ледникового периода. (Геология СССР том 1, 1975)

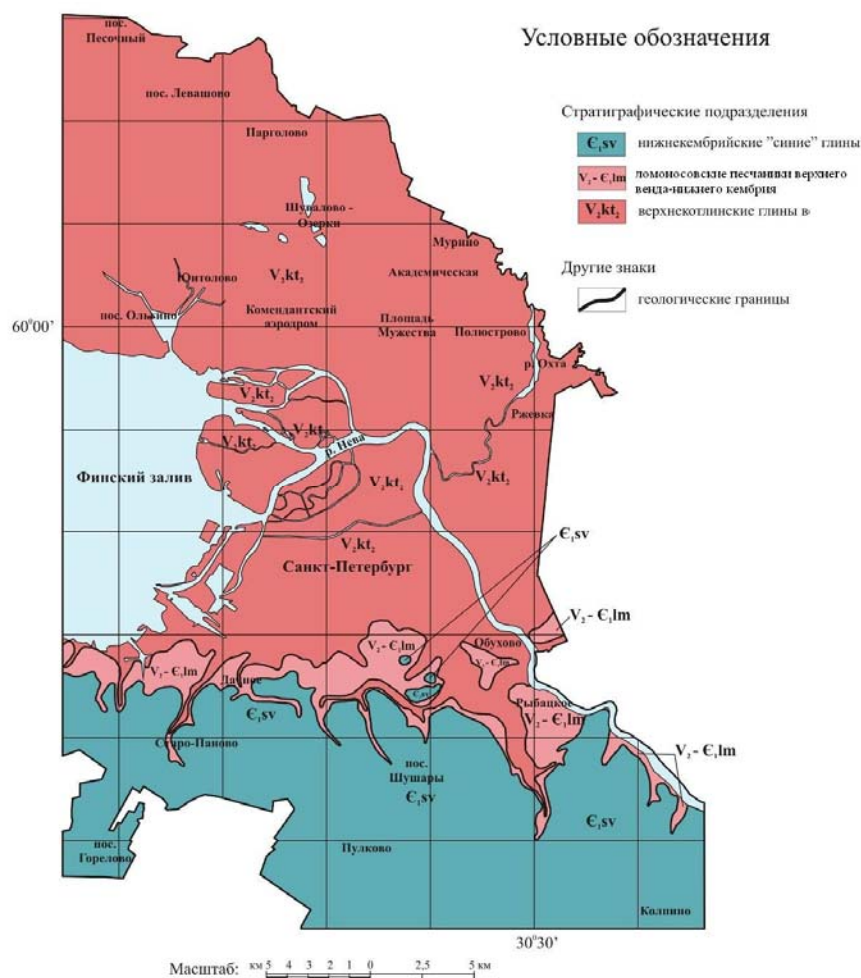


Рис.4. Схематическая геологическая карта дочетвертичных (коренных) отложений Санкт-Петербурга

(по данным Геологического атласа Санкт-Петербурга, 2009 г.)

Разрез нижней толщи в Санкт-Петербурге представлен коренными породами, имеющими возраст 550-650 млн. лет и прошедшими несколько стадий литификации, что

определило их высокую степень уплотнения и обезвоживания (рис.4). На юге города в строении верхней толщи выделяют нижнекембрийские «синие» глины ( $C_{1sv}$ ), а под ними – ломоносовские песчаники с прослоями глин ( $V_2-C_{1lm}$ ), к которым приурочен напорный водоносный горизонт (рис.4). В северном и центральном районах города непосредственно под четвертичной толщей, а также в южной части под нижнекембрийскими отложениями залегают верхнекотлинские глины верхнего венда с тонкими прослоями песчаников ( $V_2kt_2$ ). Полная мощность этих отложений варьирует от 12-20 м до 95-126 м, что связано, как уже отмечалось выше, с наличием глубоких эрозионных врезов от древней речной системы, заполненных в четвертичное время слабыми водонасыщенными песчано-глинистыми осадками (погребенные долины). Ниже глин залегает водоносный горизонт, приуроченный к песчаникам нижнекотлинского горизонта ( $V_2kt_1$ ), старое название – гдовский горизонт). Этот водоносный горизонт входит в состав вендского водоносного комплекса и имеет в пределах города напоры более 90 м, которые в настоящее время постепенно растут со скоростью 1,5-2 метра в год. Подземный рельеф кровли нижней толщи сформировался в поздненеогеновое-раннечетвертичное время (около 2 млн. лет назад) за счет эрозионной деятельности древней речной системы, которая прорезала породы нижней толщи на различную глубину. В четвертичное время древние речные долины, представлявшие собой пониженные участки рельефа, были полностью заполнены ледниковыми и межледниковыми отложениями, в результате чего в современном рельефе такие долины обычно не выражены. Исключение составляют некоторые районы в южной и юго-западной частях Санкт-Петербурга (Лигово, Колпино и др.), где мощность четвертичных образований небольшая (менее 10 м) и в современном рельефе прослеживаются понижения дневной поверхности, совпадающие по ширине и протяженности с очертаниями эрозионных врезов. Формирование древних речных систем связано с особенностями структурно-тектонических условий рассматриваемой территории. По данным геологоразведочных работ, геофизических и геохимических исследований установлено, что кристаллический фундамент в пределах города и прилегающих районов разбит системой региональных тектонических разломов северо-восточного, северо-западного и субширотного простирания, а также сетью более мелких разрывных нарушений на отдельные блоки, которые образуют в плане структуру типа «битой тарелки». Активная разломная тектоника фундамента определяется его расположением в зоне сочленения двух крупных тектонических структур – Балтийского щита и северо-западной части Русской плиты. В пределах этой зоны зафиксировано движение блоков фундамента относительно друг друга с разной скоростью и

интенсивностью в различные периоды геологического времени, в том числе и в современное (четвертичное) время (Р.Э. Дашко, 2011).

Разломы фундамента пролонгируются в породах осадочной дочетвертичной толщи (глины и песчаники), приводя к их дезинтеграции, что имеет принципиальное значение для оценки их устойчивости (рис.3). Разломы северо-восточного простирания (азимут 30-70°) фиксируются в толще коренных пород в виде трещин значительной протяженности с углом падения 45-75°. По этим трещинам нередко отмечается смещение горизонтов песчаников и глин с малой амплитудой. Разломы северо-западного направления с азимутом преимущественно 290-320° представляют зоны субвертикальных сближенных трещин, часто с зеркалами скольжения и приразломной мелкой складчатостью. В узлах пересечения разнонаправленных разломов наблюдается наиболее интенсивное дробление коренных пород. Дезинтегрированность плотных глинистых пород и песчаников в зонах разломов провоцирует образование вывалов в подземных выработках, а также возможность нисходящего либо восходящего перетекания подземных вод через трещиноватую толщу (Геология СССР том 1, 1975).

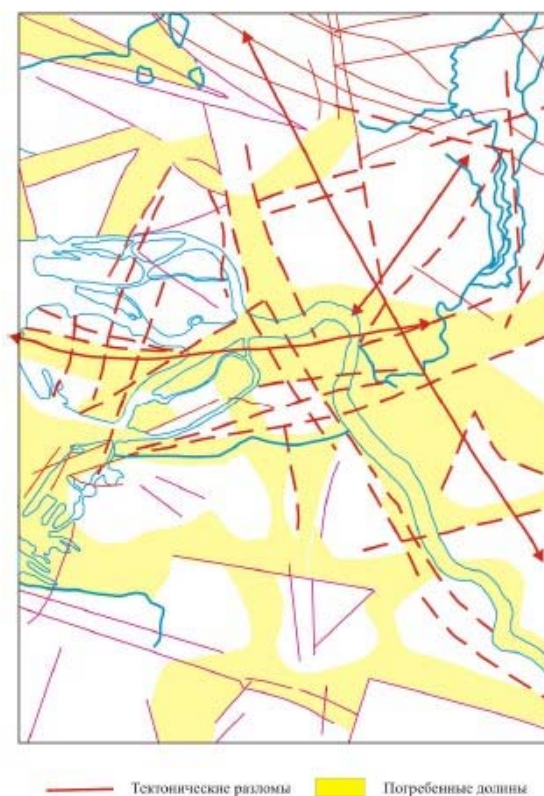


Рис.5. Структурно-тектоническая карта Санкт-Петербурга. (Р.Э. Дашко, 2011).

Две наиболее глубокие погребенные долины в пределах города приурочены к разломам субширотного направления. (Одна из них прослеживается в районе пл. Мужества, вторая – на Васильевском острове, проходит под рекой Смоленкой, углубляясь



в западном направлении. Третья протяженная погребная долина размещается вдоль правого берега р. Невы.

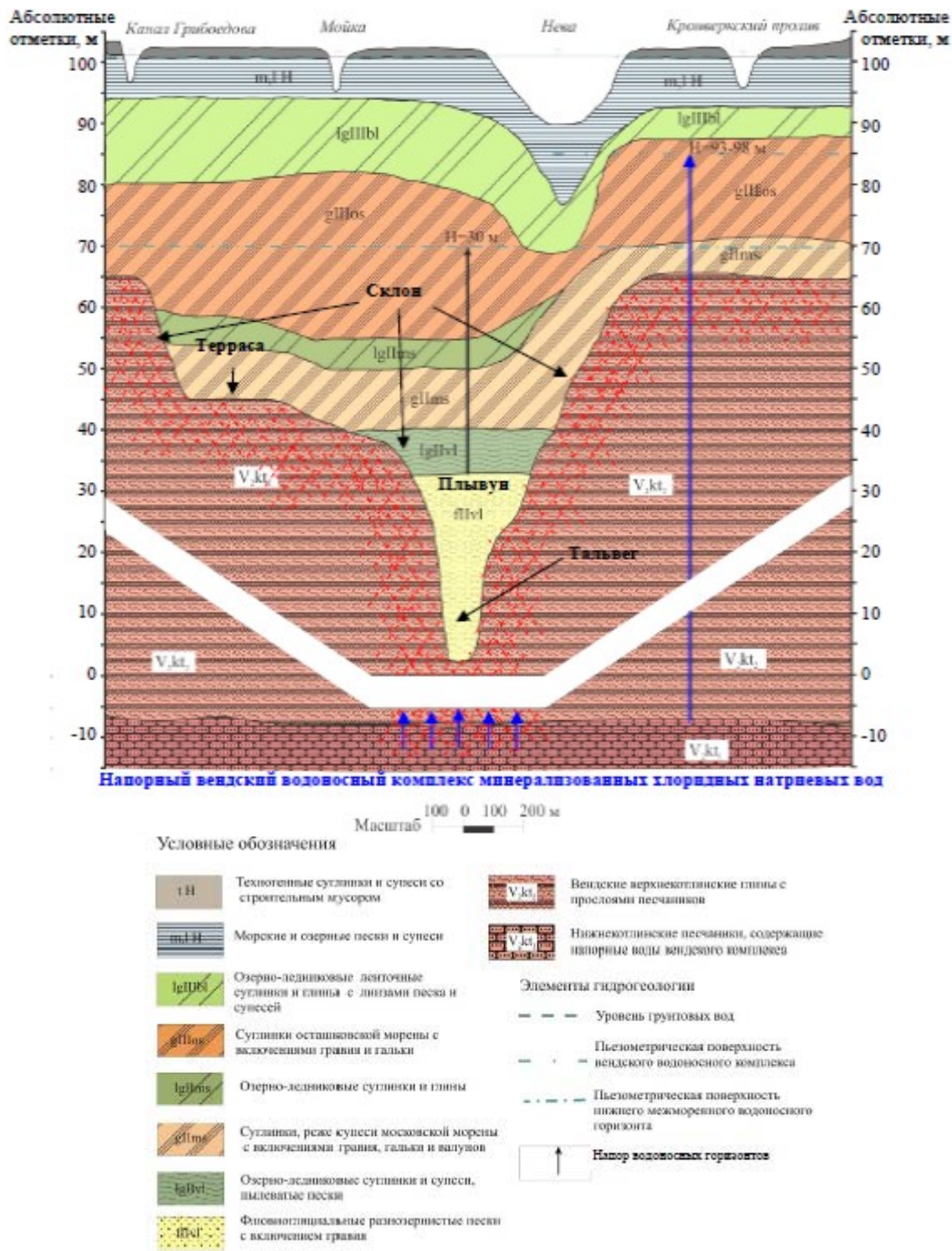


Рис.6. Схематический геолого-литологический разрез погребенной долины с элементами гидрогеологии (абсолютные отметки изменены) (Р.Э. Дашко, 2011).

Меньшая часть палеодолин, а также межморенные палеодолины четвертичного возраста контролируются северо-восточными и северо-западными разломами. В строении погребенных долин выделяют склоновые участки, террасы и тальвеговые зоны. Тальвег – самая глубокая часть погребенной долины, представляющая собой русло древней реки, заполненное четвертичными отложениями.

Угол склона палеодолины и глубина врез определяет её протяженность в поперечном сечении. Крутизна склонов большинства палеодолин относительно невелика и изменяется обычно в пределах 12-15°, реже 18°, в верхней части – менее 10°. При этом ширина погребенной долины в плане может достигать нескольких километров. Глубина вреза палеодолин в коренную толщу в Санкт-Петербурге варьирует в довольно значительных пределах. Она определяет мощность наиболее слабой верхней толщи четвертичных отложений. Максимальная мощность четвертичных отложений в районе пл. Мужества достигает 120-130 м, при этом в разрезе выделяется три горизонта морен, разделенных межморенными отложениями.

Тип палеодолины	Глубина эрозионного вреза в коренные породы, м	Мощность четвертичных отложений в тальвеговой части, считая от дневной поверхности, м
Глубокие	60-90	До 120
Средней глубины	30-60	До 90
С малым эрозионным врезом	Менее 30	До 40

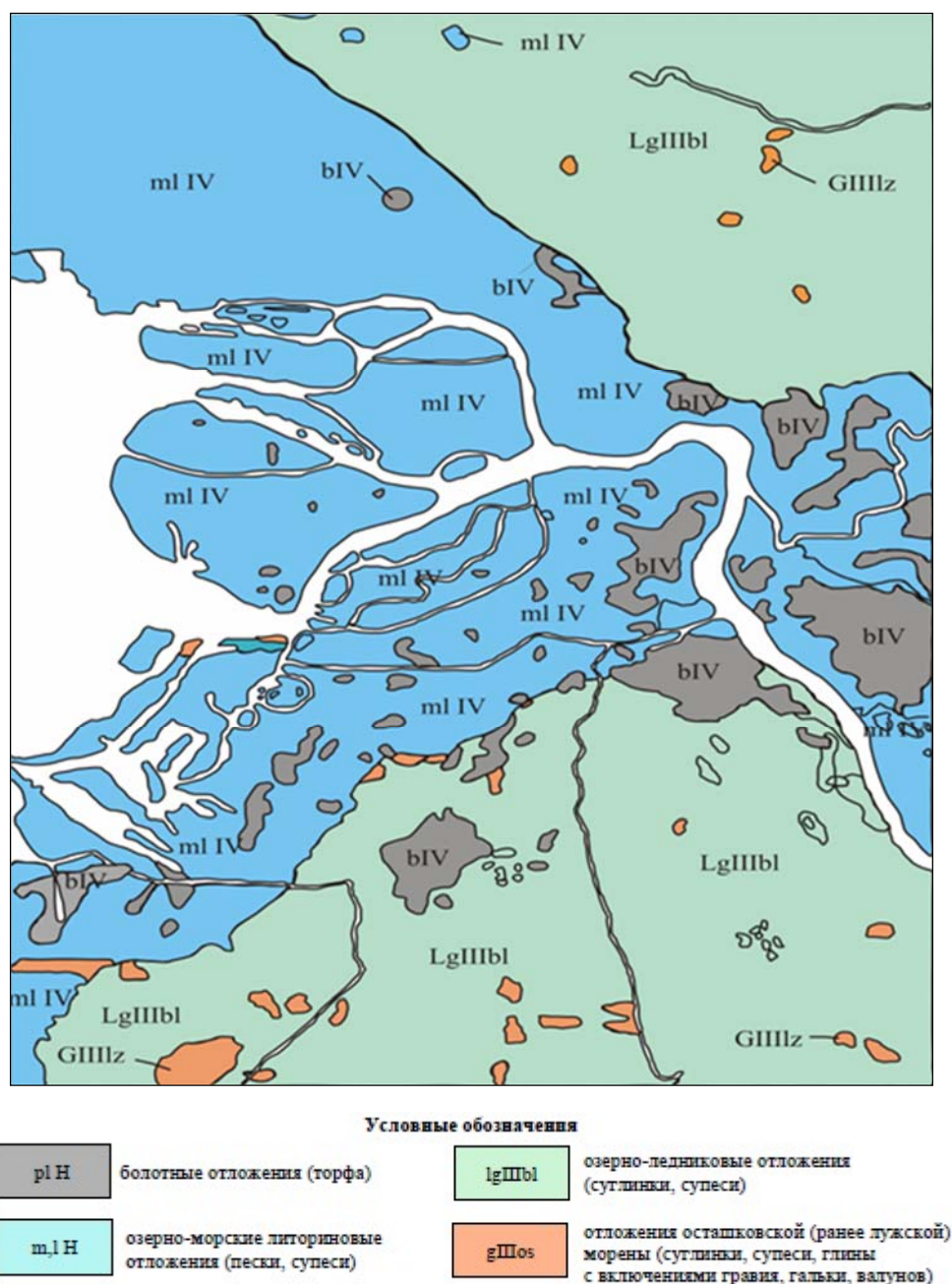
Табл.1 Типизация погребенных долин по глубине эрозионного вреза (Р.Э. Дашко, 2011).

В северной части города увеличение верхней толщи четвертичных отложений связано с повышением отметок земной поверхности до плюс 40-70 м, при этом отмечается увеличение относительного содержания песчаных отложений, которые при водонасыщении переходят в состояние плывунов. Глубина вреза палеодолин в коренные глины определяет остаточную мощность верхнего водоупора над вендским водоносным комплексом. В тальвегах глубоких долин водоупорные слои могут быть минимальными.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия Санкт-Петербурга характеризуются большой неоднородностью и относительной сложностью, которую необходимо учитывать при освоении и использовании подземного пространства города, в том числе при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных транспортных

сооружений, а также коллекторов с различной глубиной их заложения. Обычно вмещающей средой тоннелей малой и средней глубины заложения служат относительно молодые четвертичные водонасыщенные песчано-глинистые отложения различного происхождения: ледниковые, водно-ледниковые, в том числе озерно-ледниковые, озерные и морские, а также болотные(Р.Э. Дашко,2011). (рис. 7, см. рис. 8).

Рис.7. Схема четвертичных отложений территории Санкт-Петербурга (Р.Э. Дашко,2011).



Причем последние залегают или залегали (до освоения территории) в самой верхней части разреза, редко на глубине. До основания города заболоченность его территории составляла около 75%. В процессе строительства болотные отложения либо снимались при относительно небольшой мощности (до 2,0 м), либо засыпались, а в 60-х годах прошлого века замывались. Таким образом, болотные отложения оказались погребенными под слоем техногенных образований. В отдельных случаях, особенно в 18 – начале 19 вв., болота снимались на полную мощность до 8-10 м и заменялись песком. В качестве примера можно привести уничтожение глубокого болота в районе Гостиного Двора (до его строительства), в пределах площади около Технологического института, на берегах Невы и её протоков, а также на берегах Мойки, Фонтанки, Кривуши (ныне канала Грибоедова). Болота оказывают существенное и негативное воздействие на подстилающие грунты, обогащая их органическими компонентами, а также микроорганизмами, которые во многих случаях генерируют газ: метан, азот, сероводород, диоксид углерода и др. Образование малорастворимых газов (метана и азота) создает условия для разуплотнения песчано-глинистых грунтов и перехода их в неустойчивое состояние. Газоводонасыщенные грунты при вскрытии их подземными выработками легко переходят в состояние плавучих. Растворимые газы (сероводород и  $\text{CO}_2$ ) создают условия для формирования агрессивности водонасыщенной подземной среды по отношению к бетонам (углекислая коррозия) и черным металлам за счет подкисления вод. Генерация газов характерна для разреза подземного пространства Санкт-Петербурга не только в болотных отложениях и в подстилающих грунтах, но даже в коренных породах. Негативное влияние болот обычно прослеживается до глубины 30,0-50,0 м, что необходимо учитывать при проектировании подземных сооружений, их строительстве и эксплуатации на территориях, бывших заболоченными до их освоения (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009).

Вся толща четвертичных отложений (за редким исключением) может рассматриваться как неустойчивая, обладающая способностью к развитию пластических деформаций, что способствует оплыванию грунтов в подземные выработки при нарушении технологии ведения горных работ или неправильном её выборе. Обоснование технологии ведения горных работ должно быть адекватно инженерно-геологическим условиям при обязательном учете наличия подземных вод, оценке их гидродинамического режима и коррозионной способности. В четвертичных отложениях, как уже указывалось ранее, пройдены и функционируют старейшие и старые системы водоотведения довоенного периода, а также коллекторы средней глубины заложения, проложенные в 60-



х – 70-х годах прошлого века. Безопасность взаимодействия четвертичных отложений с коллекторами во многом определяется состоянием этих грунтов, их физико-механическими свойствами, агрессивностью по отношению к конструкционным материалам коллекторов (Р.Э. Дашко, 2011).

Если абсолютные отметки земной поверхности не превышают плюс 9,0 м, то в верхней части разреза развиты современные озерно-морские песчано-глинистые литориновые отложения (m, l Н) мощностью от 3-5 м до 12-20 м, реже более 20 м (см. рис. 4). В этих грунтах отмечается присутствие органических остатков, в толще обнаруживаются слои погребенных торфяников. К литориновым отложениям приурочен водоносный горизонт, при этом водовмещающими грунтами служат мелкие либо тонкие пески пылеватые серого цвета. В пределах города этот водоносный горизонт загрязнен хлоридами, соединениями серы и азота. Воды характеризуются повышенным содержанием органических соединений природного и техногенного генезиса (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009).

В нижней части разреза, реже средней прослеживаются супесчаные и суглинистые прослой, находящиеся в текучем, текуче-пластичном и пластичном состоянии. Водонасыщенные литориновые пески под действием незначительного гидродинамического давления легко переходят в плавуну. Литориновые отложения имеют высокую биокоррозионную способность по отношению к бетонам и железобетонам за счет их загрязнения и наличия микробиоты. Наличие органических соединений создает условия для формирования анаэробной среды, в которой легко протекают электрохимические процессы, приводящие к постепенному снижению толщины стальных труб за счет восстановительных реакций, способствующих образованию легко растворимого  $Fe^{2+}$ .

Озерно-ледниковые отложения времени существования Балтийского ледникового озера, представленные преимущественно суглинками и глинами, в том числе ленточными, реже - тонкими и пылеватыми песками. Эти отложения широко представлены на поверхности суши и на дне акватории залива, перекрывая морену и водноледниковые отложения осташковского оледенения. Мощность их колеблется от 1 до 20 м на суше, достигая 35 м в акватории. В пределах дна залива отложения Балтийского ледникового озера развиты практически повсеместно. В литологическом отношении они представляют собой единый седиментационный цикл, начинающийся горизонтом слоистых ленточноподобных глин, сменяющихся вверх по разрезу уплотненными глинами с

намечающейся слоистостью, и завершающийся толщей монотонных глин. Цвет осадков различный с преобладанием буровато- и коричневатого-серых тонов.

Отложения неоплейстоцена перекрыты современными голоценовыми образованиями. Наиболее полно их разрез представлен в акватории Финского залива и Невской губы. Они представлены морскими и озерными отложениями, связанными со стадийным развитием послеледниковой Балтики, а также эоловыми, биогенными, аллювиальными и техногенными осадками (Бутылин, 1989).

В процессе эволюции послеледниковой Балтики выделяют три главные стадии - формирование Анцилового озера, образование Литоринового моря и заключительную лимниевую стадию.

В континентальной части города морские и озерные нерасчлененные отложения объединяют осадки, формировавшиеся в течение всех основных послеледниковых стадий развития Балтики. Они выделяются в виде узкой полосы по южному побережью Финского залива, вверх по течению р.Невы до Володарского моста, по р. Охте до района Пороховых, а также в Лахтинской котловине. Представлены они песками, супесями и суглинками серого и голубовато-серого цвета с прослоями разложившегося торфяника. Залегают эти осадки, главным образом, на осадках Балтийского ледникового озера и осташковской морене. Мощность их составляет 1-13 м.

Отложения Анцилового озера в пределах города представлены мелкозернистыми песками, супесями, реже глинами с прослоями торфа и алевролита. Мощность осадков достигает 6-9 м. В пределах дна акватории они представлены серыми или буровато-серыми глинами и алевроглинами. Их отличительной особенностью является присутствие стяжений аутигенных сульфидов (гидротроилит). В кровле анциловых отложений иногда встречается слой голубых глин, обогащенных биоморфными микроконкрециями пирита. Максимальная вскрытая мощность в пределах акватории составляет немногим более 3 м, но преимущественно не превышает 1.0-1.5 метра.

Отложения Литоринового моря распространены на дне Финского залива и вдоль берегов, в Приневской и Лахтинской котловинах, в приустьевой зоне р.Невы. В континентальной части они слагают ряд террас, хорошо выраженных в рельефе. В пределах городских территорий литориновые отложения достигают мощности 13.6 м и представлены гумусированными голубоватыми и серыми песками, супесями и суглинками, местами с включениями вивианита и с выдержанным по простираанию прослоем торфа в середине толщи. К отложениям литоринового моря относятся и

гиттиевые глины, которые образуют залежь лечебных грязей месторождения «Сестрорецкий курорт», являющихся единственным в России образованием подобного рода (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009).

В акватории Финского залива литориновые отложения представлены волновыми и бассейновыми отложениями. Осадки волнового генезиса развиты на мелководье Курортного района, а также локально к юго-западу от о-ва Котлин, где формируют Ломоносовскую и Лондонскую отмели, сложенные песками от крупно-среднезернистых до мелкозернистых. Бассейновые отложения, которые могут быть отнесены к нерасчлененным литориновой и лимниевой пачкам (глинисто-алевритовые и алевроглинистые илы с большим количеством органики и растительного детрита), слагают морское дно к северу от о-ва Котлин (Амантов, 2002).

Осадки лимниевой стадии развития Балтики образовались в условиях понижения уровня моря. Они распространены на дне Финского залива вдоль его современных берегов. Мощность отложений колеблется от 0.5 до 3.6 м. Эти осадки представлены в основном волновыми песками современного подводного берегового склона и пляжа. К отложениям лимниевой стадии могут быть также отнесены глинисто-алевритовые и алевроглинистые илы наиболее глубоких частей Невской губы.

Аллювиальные осадки пользуются ограниченным распространением и существуют, в основном, в виде руслового аллювия. Мощность их обычно не превышает 2-3 м. Пойменный аллювий встречается только на реке Неве. Аллювий очень изменчив по составу: от гравийно-галечного материала до супесей и суглинков

Ниже литориновых отложений прослеживаются озерно-ледниковые песчано-глинистые грунты (lgIIIbl), которые широко развиты на всей территории Санкт-Петербурга (см.рис. 6). На абсолютных отметках более плюс 10 м озерно-ледниковые отложения залегают непосредственно у земной поверхности и перекрыты только техногенными образованиями. При большой мощности (более 7,0 м) имеют трехслойное строение. В верхней части разреза – это неяснослоистые супеси, реже суглинки, часто ожелезненные, что повышает их прочность и устойчивость. В средней части разреза глинистые отложения имеют ленточную текстуру – ритмичную слоистость: чередование глинистых прослоев с пылеватыми, реже песчаными прослоями (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009).

Грунты в средней части разреза характеризуются повышенной влажностью, низкой плотностью и неустойчивыми формами консистенции. Глинистые отложения этой зоны

имеют тиксотропные свойства, т.е. обладают способностью к разжижению при воздействии динамических либо вибрационных нагрузок, а в состоянии покоя восстанавливают свою прочность, однако не до первоначальных значений.

В нижней части разреза наблюдается снижение содержания глинистой фракции в озерно-ледниковых отложениях, исчезает ленточная текстура, однако эти грунты продолжают оставаться слабыми. Эти отложения неустойчивы при проходке траншей, котлованов, поскольку способны к развитию деформаций выпора дна выработок, оплыванию их стенок. Озерно-ледниковые отложения имеют высокую степень водонеустойчивости за счет значительного содержания пылеватых фракций (0,05 – 0,002 мм), легко размокают и размываются.

Вся толща озерно-ледниковых отложений обладает способностью к сильному морозному пучению. К пылеватым и песчаным прослоям этих отложений приурочены напорные воды, что способствует дополнительному снижению их прочности и повышению степени неустойчивости. При высокой степени загрязнения озерно-ледниковых отложений, особенно их микробной пораженности, снижается прочность глинистых разностей, а песчаные образования обычно трансформируются в плывуны.

Особенно следует отметить негативные изменения в толще озерно-ледниковых отложений, если они залегают под болотными образованиями (чаще всего на пониженных участках). Под болотами в озерно-ледниковых отложениях обычно отсутствует верхняя ожелезненная зона, глинистые грунты обладают прочностью  $\tau < 0,02$  МПа и модулем общей деформации  $E_{об} \leq 5$  МПа при ярко выраженной способности к разжижению при динамических нагрузках. Кроме того, грунты под болотами обладают выраженной биокоррозионной агрессивностью (Дашко Р.Э, 2011).

Ниже озерно-ледниковых отложений прослеживаются ледниковые образования – морены, которые характеризуются большим разнообразием гранулометрического состава. На основе анализа фондовых материалов было установлено, что около 60% таких опробованных отложений – суглинки, несколько более 33% – супеси, менее 10% – глины. Однако в толще морены достаточно часто встречаются изолированные линзы крупных песков, реже мелких и пылеватых, которые содержат напорные воды, с давлением до 2 атм. Такие линзы, которые часто не оконтуриваются в процессе изысканий, могут сыграть отрицательную роль при проходке глубоких котлованов и подземных выработок, поскольку высокие напоры способствуют формированию прорывов вод из таких

локальных линз, что сопровождается выносом песков и соответственно развитием деформаций вмещающей толщи.

Моренные образования достаточно часто содержат единичные включения валунов различных размеров, реже в их толще встречаются скопления крупнообломочных включений, что существенно затрудняет проходку подземных выработок, а также формирует зоны концентрации напряжений на контакте жесткой среды (валунов) и достаточно податливой морены без включений обломочного материала.

В пределах района Санкт-Петербурга выделяют три морены (по возрасту). Верхняя –осташковская (ранее лужская) морена (gIIIos) распространена на большей части территории города. Средняя – московская морена (gIIms) вскрывается в палеодолинах в северной, центральной и юго-восточной частях города. Нижняя вологодская (ранее днепровская) морена (gIIvl) встречается редко, только в тальвегах глубоких. (Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009).

Состояние, прочность и деформационная способность верхней (осташковской) и средней (московской) морен во многом зависят от условий их образования, глубины залегания, степени загрязнения, активности развития микробной деятельности. Несмотря на высокую плотность сложения морены, её физическое состояние по консистенции может варьировать в широких пределах от твердой до текучей. Согласно нормативным документам для таких типов отложений обычно рекомендуются высокие значения прочности и деформационной способности. Однако исследования, проведенные в СПГТИ(ТУ) под руководством проф. Р.Э. Дашко показали, что необходимо выделить несколько типов морен по их инженерно-геологическим особенностям.

*I тип* морен распространен в условиях приповерхностного залегания и достаточного влагообмена, его можно встретить на отдельных локальных участках в северной части Санкт-Петербурга - в районе Гражданского проспекта и р. Каменки, а в южной – в районе Витебского вокзала. Присутствие соединений окисленного железа  $Fe^{3+}$  приводит к снижению общей гидрофильности пород, следствием чего является уменьшение их естественной влажности, а также наличие твердой и полутвердой консистенции ( $W=8-14\%$ ,  $IL \leq 0,25$ ). При оценке водопроницаемости и механических свойств таких морен необходимо принимать во внимание существование трещин различного генезиса. В этом случае глинистая морена должна рассматриваться как трещиновато-блочная среда. С инженерно-геологической точки зрения такие отложения могут служить достаточно надежной средой для подземных сооружений. Изменение

параметров прочности наблюдается в следующих пределах: сцепление – 0,015-0,32 МПа, угол внутреннего трения – выше 15-25°, модуль общей деформации достигает 40-50 МПа и более отложениями (Р.Э. Дашко, 2011).

Морены *II типа* выделяются там, где ледниковые образования осташковского горизонта перекрыты комплексом озерно-ленточных глинистых отложений. Если верхняя толща озерно-ледниковых отложений имеет небольшую мощность (2-3 м), то зона гипергенеза с окислительной обстановкой будет охватывать не только озерно-ледниковые отложения, где обычно отмечается максимальное содержание соединений трехвалентного железа, но и моренные образования с менее интенсивным ожелезнением. Возрастание мощности озерно-ледниковых отложений приводит к тому, что позитивные гипергенные изменения пород, связанные с формированием цементационных связей за счет гидроксидных соединений железа, охватывают только верхнюю зону озерно-ледниковых отложений. При сохранении высокой плотности такие морены характеризуются хрупко-пластическим и пластическим характером деформируемости, снижением угла внутреннего трения  $\varphi$  до 10° и сцепления  $C$  до 0,05 МПа (Р.Э. Дашко, Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга). Для такой морены несвойственна макро- и микротрещиноватость, хотя дефекты в толще пород фиксируются. При отсутствии техногенного загрязнения пород отмечается низкая величина органической составляющей биотического характера. Рассматриваемый тип разреза имеет значительное распространение в пределах Санкт-Петербурга и прослеживается на террасах с абсолютными отметками более 9-10 м. В пределах исторического центра города, приуроченного к низкой литориновой террасе с абсолютными отметками поверхности менее 8 м, можно выделить *III тип* морены. В этом случае озерно-ледниковые и моренные отложения перекрыты современными литориновыми осадками, которые характеризуются наличием растительных остатков, а также прослоев торфов. Наличие мощной толщи перекрывающих отложений, а также значительное содержание органики предопределяет формирование анаэробной среды. Кроме того, торфа служат источником разнообразной микробиоты, миграция которой обычно наблюдается вниз по разрезу. Сорбция бактериальных клеток и продуктов метаболизма на глинистых частицах приводит к формированию биопленок, что значительно ослабляет интенсивность молекулярного взаимодействия между частицами, приводит к снижению прочности и показателей деформационных свойств. Такие породы обычно имеют пластический характер деформирования с «бочкованием» образца без видимого нарушения сплошности, поскольку углы внутреннего трения снижаются до 5-7° (Р.Э. Дашко, Особенности инженерно-

геологических условий Санкт-Петербурга). Для отложений этого разреза расчетной моделью служит модель, которая должна базироваться на анализе моренных отложений как квазипластичной среды. Эти отложения обычно характеризуются высокими показателями микробиологической пораженности, и её величина во многих случаях определяет параметры механических свойств пород. Вместе с тем микробиологическая пораженность мало отражается на величине плотности, влажности и показателе консистенции.

*IV тип* разреза выделяется в тех случаях, когда морена перекрыта болотными отложениями, что определяет её формирование в условиях анаэробной обстановки. Под слоем болотных отложений мощностью более 2 м морена меняет свой цвет на серые и голубовато-серые тона, обогащается органическими остатками биотического и абиотического генезиса, которые предопределяют снижение её прочности и деформационной способности. Как правило, отмечается высокая микробиологическая пораженность пород вплоть до газообразования. Значения показателей физико-механических свойств близки к разрезу III типа (Р.Э. Дашко, Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга). Однако, как показывают исследования на различных объектах Санкт-Петербурга, заметное влияние на состояние и параметры физико-механических свойств этих пород оказывает загрязнение.

Межледниковые (межморенные) отложения сложены пестрыми по генезису и литологическому составу породами – песками, супесями, суглинками. Выделяется верхний межморенный горизонт – между московской и осташковской, и нижний – между вологодской и московской моренами. Мощность межморенных отложений изменяется в широких пределах от 1-2 до 30-45 м в погребенных долинах.

Наибольшее развитие в межледниковых горизонтах имеют отложения ледниковых потоков (флювиогляциальные f II, III) и озёрно-ледниковые отложения (lgII, III). Флювиогляциальные отложения сложены разнотерными песками с включениями разного количества гравия, гальки и валунов, содержащие напорные воды. Озёрно-ледниковые отложения представлены мелко- и тонкозернистыми песками, супесями и глинами характерного ленточного строения. Среди этих отложений распространены «ложные» и истинные плавунны.

Среди межледниковых отложений особое внимание должно быть уделено газогенерирующим отложениям микулинского (мгинского) горизонта (mIII<sub>mg</sub>). Это морские отложения, образовавшиеся в теплое микулинское межледниковье. Они представлены суглинками, реже мелкозернистыми песками от темно-серого до черного

цветов, часто с хорошо сохранившимися органическими остатками (ракушки и др.). Распространены преимущественно в восточном и юго-восточном районе Санкт-Петербурга, а также в его северных пригородах (Мурино) на глубинах более 20,0 м. Максимальная мощность этих отложений (около 28,0 м) в пределах города фиксируется в районе ст.м. «Рыбацкое» (рис. 8), микулинские отложения показаны фиолетовым цветом).



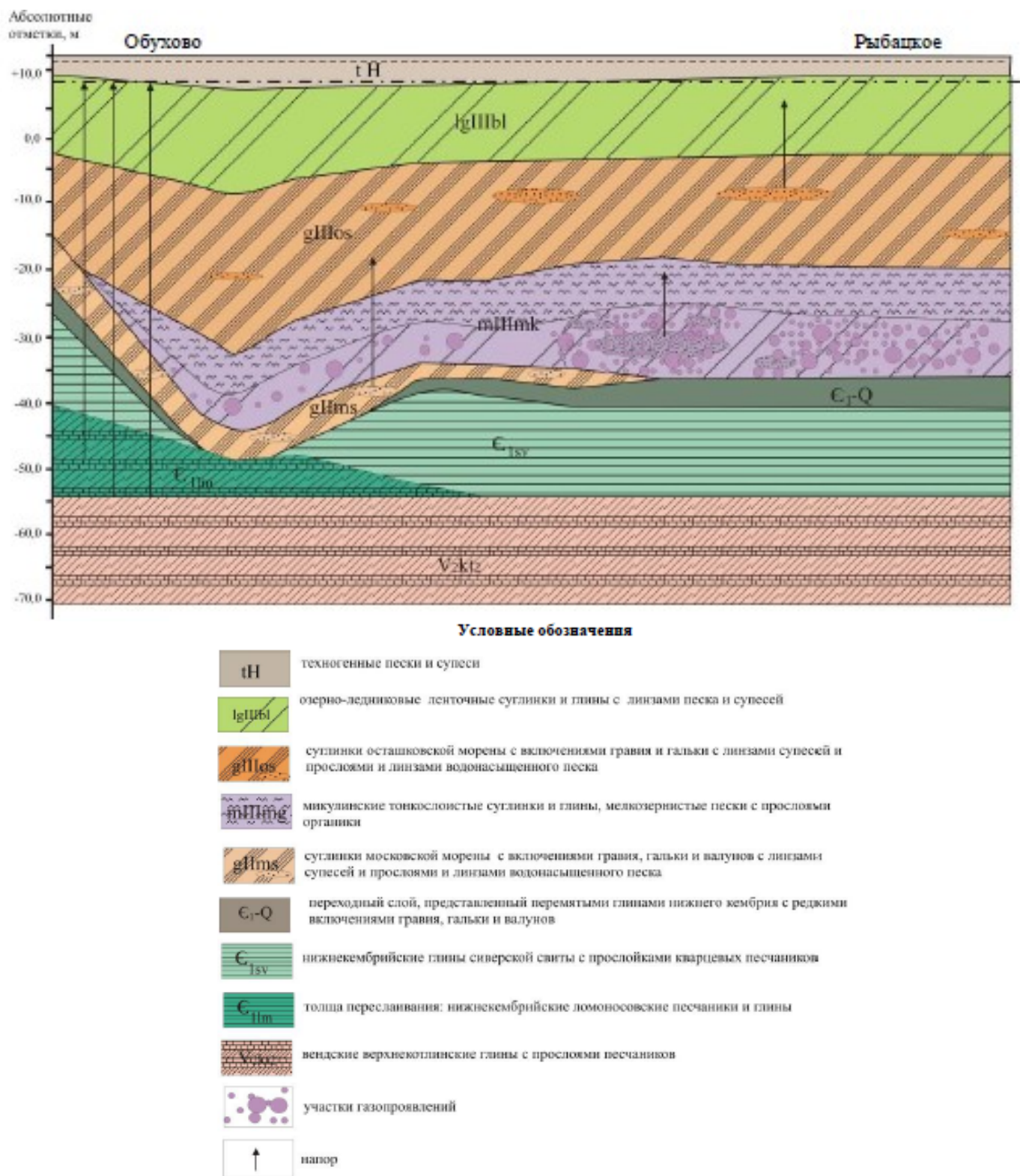


Рис. 8. Схематический геолого-литологический разрез юго-восточной части Санкт-Петербурга (по Р.Э.Дашко, 2011)

Высокое содержание битуминозной органики в микулинских слоях предопределяет активность протекающих в них биохимических процессов за счет жизнедеятельности богатой природной микрофлоры, с чем связана способность этих отложений продуцировать биохимические газы – метан, азот, углекислый газ. При проходке подземных выработок и бурении скважин в ряде случаев происходят газогрязевые

выбросы с самовозгоранием. Газогенерация в микулинских глинистых отложениях предполагает влияние газов на напряженное состояние четвертичной толщи во времени в зависимости от газодинамического давления, а также рост агрессивности подземных вод по отношению к конструкционным материалам, в том числе бетонам и железобетонам обделок коллекторных тоннелей. При окислении метана образуется диоксид углерода и вода:  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ , что приводит к усилению углекислой агрессивности подземных вод (Р.Э. Дашко, 2011).

Нижняя толща разреза осадочного чехла представлена: 1) нижнекотлинский горизонт песчаников с прослоями алевролитов и глин ( $V_2kt_2$ ) полной мощностью 40-70 м, к которому приурочены напорные минерализованные воды вендского водоносного комплекса (нижнекотлинского или гдовского водоносного горизонта); 2) верхнекотлинский горизонт глин с прослоями песчаников ( $V_2kt_2$ ) суммарной мощностью от 12-20 до 95-126 м (минимальная мощность отмечается в пределах глубоких палеодолин); 3) маломощный ломоносовский горизонт глинистых песчаников ( $\epsilon_1lm$ ), к которому приурочен напорный ломоносовский водоносный горизонт (прослеживаются на юге города, см. рис. 2); 4) нижнекембрийские «синие» глины ( $\epsilon_1sv$ ) мощностью от первых метров до 100 м и более (появляются в разрезе на юге города).

Наиболее широким распространением среди дочетвертичных пород пользуются верхнекотлинские глины более плотные (плотность 2,17-2,24 г/см<sup>3</sup>) твердые алевроитовые (пылеватые) тонкослоистые разности зеленовато-серого цвета с редкими прослоями песчаников, часто с бурыми пленками органического вещества (остатки водорослей *Laminaria*) на плоскостях напластования. Наличие остатков ламинаритовых водорослей служит отличительной чертой этих отложений. Тонкодисперсная часть верхнекотлинских глин ( $d < 0,002$  мм) состоит из гидрослюды и каолинита – средне- и малоактивных глинистых минералов, что можно рассматривать как положительный фактор при оценке способности глин к набуханию при дополнительном увлажнении. Однако эти глины способны размокать при действии вод, особенно при их высокой степени дезинтеграции. Следует отметить, что до 60-х годов прошлого века возраст верхнекотлинских глин определяли, как нижний кембрий, в связи с чем в старой научно-технической литературе за ними закрепилось название «ламинаритовые слои нижнекембрийских отложений». В настоящее время в практике верхнекотлинские глины часто называют «протерозойские глины», что не совсем точно, поскольку их возраст – верхний венд (верхний отдел протерозоя).

Нижнекембрийские глины отличаются от верхнекотлинских как по внешнему виду, так и по составу, состоянию и физико-механическим свойствам. Нижнекембрийские глины имеют синевато-серый цвет, из-за чего и получили название «синие» глины (Геология СССР, 1975 г). Они характеризуются как алевроитовые неяснослоистые (в отличие от верхнекотлинских глин) разности, содержат сульфиды (пирит) и органические соединения до 4%. В минеральном составе глинистой фракции преобладают высокощелочные гидрослюды, хлорит и глауконит, редко встречается монтмориллонит. По физическому состоянию (консистенции) нижнекембрийские глины более влажные и пластичные, чем верхнекотлинские глины. «Синие» глины активно взаимодействуют с водой, могут набухать и при перепаде напряжений выдавливаются в подземные выработки. Традиционный подход к инженерно-геологической оценке верхнекотлинских и нижнекембрийских глин базируется на предположении, что эти образования являются нетрещиноватой и квазиоднородной средой по составу и свойствам, как по глубине, так и по площади. Подобный подход к оценке коренных глин обычно приводит к некорректным выводам о возможной стабильности инженерно-геологических условий (Р.Э. Дашко, 2011).

В настоящее время установлено, что толщу коренных глинистых отложений верхнего венда и нижнего кембрия следует оценивать, как трещиновато-блочную среду, имеющую зональное строение по глубине. Трещины в этих глинах формировались за счет тектонических и нетектонических факторов. Нетектоническая трещиноватость возникла в результате процессов длительного выветривания, когда около 300 млн. лет назад глины верхней толщи в рассматриваемом регионе были выведены на дневную поверхность. В ледниковый период описываемые породы испытывали несколько циклов нагрузки-разгрузки, при этом давление от ледникового покрова достигало 10-25 МПа. В этот период шло формирование трещин упругого отпора (при снятии нагрузки), морозобойного растрескивания и морозного выветривания, а также за счет явлений гляциотектоники, приводящей к формированию клиновидных трещин.

Зональное строение толщи коренных глин может быть охарактеризовано изменением параметров физических свойств, а также степенью их трещиноватости.

Выделяемые зоны	№ слоев	Глубина от кровли глин, м.	Размер блоков, м.	Диапазон изменения влажности, %
Верхнекотлинские глины венда				
I Переменной влажности и плотности	1	0-20	0,10-0,50	12-23
	2	20-40	0,50-0,70	10-20
II Квазипостоянной влажности и плотности	3	40-60	0,70-1,0	10-19
	4	60-75	1,2	10-17
	5	>75	>1,2	9-15
Нижнекембрийские синие глины				
I Переменной влажности и плотности	1	0-3	0,08-0,25	23-28* 25-32**
	2	3-10	0,25-0,40	21-25 22-29
	3	10-20	0,38-0,60	17-21 19-26
II Квазипостоянной влажности и плотности	4	20-30	0,40-0,85	16-20 18-24
	5	30-40	0,60-0,90	16-19 17-23
	6	> 40	1,0-1,40	15-18 17-23

Примечание: \* варьирование значения параметра вне зон тектонических разломов;  
 \*\* – в зонах тектонических разломов.

Таб. 2. Изменение степени трещиноватости, влажности и плотности верхнекотлинских и «синих» глин по глубине (по Р.Э.Дашко,2011).

Следует отметить, что интенсивность трещиноватости верхнекотлинских глин выше, чем у нижнекембрийских. «Синие» глины пластичнее, легче поддаются деформированию без нарушения связей между частицами. Верхняя часть разреза толщи коренных глин рассматривается как зона разуплотнения. В глинах венда вне зон размыва её максимальная мощность составляет 40-50 м, а в нижнекембрийских глинах – 17-20 м. Интенсивность трещиноватости убывает по глубине, что приводит к возрастанию размеров блоков. Важно отметить, что в зонах тектонических разломов интенсивность трещиноватости глин максимальна на всю глубину разреза и часто нарушается зональное строение толщи (Р.Э.Дашко,2011).

Наличие трещиноватости в глинах существенно сказывается на их прочности, деформационной способности, а также водопроницаемости, что следует учитывать при проектировании.

## **Глава 2. Методы лабораторного и полевого определения физических и механических свойств грунтов.**

Инженерно-геологические изыскания всегда проводят в комплексе, т. к. они состоят, как известно, из трех равнозначных и одинаково важных видов работ: полевых, лабораторных и камеральных. За последние годы эти виды работ претерпели серьезные изменения, причем как в лучшую, так и в худшую сторону. Из положительных моментов можно отметить модернизацию всех процессов – появление более современных приборов и методик в лабораторных и полевых испытаниях, повсеместное применение компьютеров и новых программ для обработки результатов испытаний, полная компьютеризация камеральных работ вплоть до трехмерной графики в изображениях участков, где производились инженерно-геологические исследования.

### **Методы лабораторного изучения грунтов.**

Для получения детальной и наиболее точной информации об объекте исследований, под которым в грунтоведении понимается грунт, в комплексе инженерно-геологических изысканий кроме полевых методов, также должны присутствовать и лабораторные методы исследований грунта. Проводить детальное изучение грунтов в лаборатории необходимо в силу того, что полевые методы не позволяют получать информацию о строении грунтов. Как известно грунт - это многокомпонентная система, в составе которой твердая, жидкая, газовая и живая компоненты. В лабораторных условиях, возможно, изучить детально каждую из компонент, если на, то есть необходимость, но чаще всего достаточно, изучить свойства грунта и его строение. Но также у лабораторных методов существует и отрицательная составляющая. Все лабораторные методы проводятся на образце грунта, а не в изучаемом массиве в целом. Образцы грунта, извлеченного из скважин являются частично нарушенными. Соответственно, данные полученные в ходе испытаний нуждаются в уточнениях относительно поведения в массив.

Виды лабораторных определений физико-механических свойств грунтов при инженерно-геологических изысканиях согласно СП 47-13330.2012 приведены в табл. 3. Выбор вида и состава лабораторных определений характеристик грунтов производят с учетом вида грунта, стадии проектирования, характера сооружения, условий работы грунта, а также прогнозируемых изменений инженерно-геологических условий территории в результате ее освоения.

В работе использованы данные физических и механических свойств грунтов.

Лабораторное определение или испытание	Грунты				Метод определения
	Скальные	Крупнообломочные	Песчаные	Глинистые	
Лабораторные испытания. Общие положения	+	+	+	+	По ГОСТ 30416
Гранулометрический состав	–	+	+	С	По ГОСТ 12536
Природная влажность	С	С	+	+	По ГОСТ 5180
Плотность	+	+	+	+	По ГОСТ 5180
Плотность частиц грунта	–	+	+	+	По ГОСТ 5180
Границы текучести и раскатывания	–	С (заполнителя)	–	+	По ГОСТ 5180
Компрессионное сжатие	–	С	С	+	По ГОСТ 12248
Сопротивление срезу (прочность)	–	С	С	+	По ГОСТ 12248
Трехосное сжатие	–	С	С	+	По ГОСТ 12248
Коррозионная активность	–	–	С	С	–
<p><b>Примечание</b></p> <p>1) «+» - определения выполняют, «–» - не выполняют, «С» – выполняют по дополнительному заданию.</p> <p>2) Определения специфических грунтов выполняют в соответствии с национальными и межгосударственными стандартами.</p>					

Таб. 3. Виды лабораторных определений физико-механических свойств грунтов при инженерно-геологических изысканиях согласно СП 47-13330.2012.

Для обобщающего анализа данных были выбраны основные физические характеристики грунтов: плотность и влажность. Испытания проводились по ГОСТ 5180-2015.

Плотностью грунта называется масса единицы объема грунта в его естественном состоянии. Существует 2 основных метода измерения плотности по ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

*1) Определение плотности грунта методом режущего кольца (ГОСТ 5180-2015).*

Метод режущих колец заключается в отборе проб грунта при помощи колец-пробоотборников. Кольца-пробоотборники изготавливают из стали с антикоррозионным покрытием или из других материалов, не уступающих по твердости и коррозионной стойкости. Плотность следует определять не менее чем для двух параллельных проб, отбираемых из исследуемого образца грунта. Значение плотности вычисляют как среднее арифметическое из результатов параллельных определений.

Необходимое оборудование и материалы:

- Весы лабораторные с разновесами.
- Нож с прямым лезвием.
- Лопатка плоская.
- Пластины гладкие (стекло, металл).
- Насадка для вдавливания колец.
- Вазелин технический.
- Режущие кольца пробоотборники.



Рис. 9. Комплект колец-пробоотборников предназначен для определения плотности ПГ-200.



Сначала находят вес пустого кольца и его внутренний объем. Затем, поставив на зачищенную и выравненную поверхность монолита грунта режущее кольцо заостренной стороной задавливают его в грунт с помощью специально о  
заполнения. Отделив режущее кольцо вместе с грунтом от монолита, необходимо подравнять поверхности грунта строго по кромке кольца. (Рис.10). Кольцо с грунтом взвешивается на электронных весах с точностью до 0,01г.

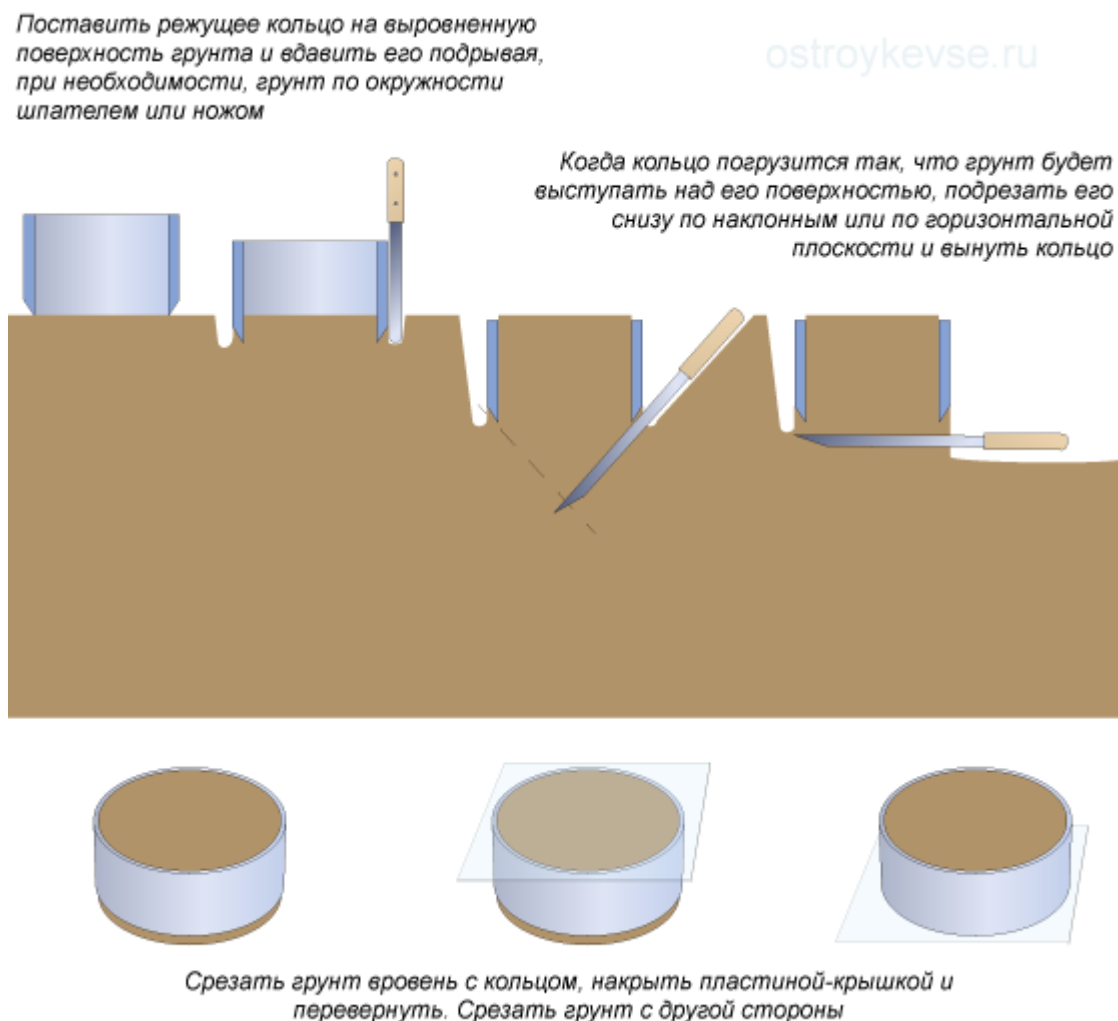


Рис.10. Определение плотности грунта методом режущего кольца.

Вычитая из полученного веса вес пустого кольца, находят вес грунта в кольце. Объем грунта равен внутреннему объему кольца. Определив вес грунта и объем его, вычисляют плотность грунта по формуле

$$\rho = (m_1 - m_0) / V \quad (1)$$

где  $m_1$  — масса грунта с кольцом, г;

$m_0$  — масса кольца, г;

$V$  — внутренний объем кольца,  $\text{см}^3$ .



Настоящий метод крайне простым, быстрым и мало затратным. Но в связи с его простотой, не совершенно точным. Так грунт, имеющий большое количество включений, будет крайне сложно вырезать, не утрамбовав его, тем самым увеличив плотность. Либо наоборот не полностью заполнить режущее кольцо грунтом, тем самым уменьшить плотность. Метод режущего кольца применяют для грунтов, легко поддающихся вырезке, но не склонных к крошению, а также в тех случаях, когда и форма отбираемого образца грунта могут быть сохранены только при помощи жесткой тары. Следовательно, хоть метод элементарный, но подходящий не для всех типов грунтов.

*2) Определение плотности грунта методом парафинирования по (ГОСТ 5180-2015).*

Метод используется только для глинистых грунтов. Определение плотности включает две операции: определение массы образца и определение его объема.

Необходимое оборудование и материалы:

- Технические весы с точностью взвешивания до 0,01 г (1)
- петля из тонкой прочной нити (2)
- сосуд с водой (3)
- ёмкость для разогревания парафина (4)
- нож (5)
- парафин

Образец произвольной формы, объемом не менее 50 см<sup>3</sup>, обрезают ножом до округлой формы и взвешивают с точностью до 0,01 г. Затем обвязывают образец нитью и покрывают тонкой парафиновой оболочкой для защиты поверхности грунта от размокания (проникновения воды в поры грунта). Для этого образец обмакивают в расплавленный парафин (нагретый до температуры 57–60° С) 3–4 раза, при этом необходимо контролировать, чтобы парафиновая оболочка была сплошной, без пузырьков и раковин. Эту операцию повторяют до образования плотной парафиновой пленки толщиной 0,5–1,0 мм.

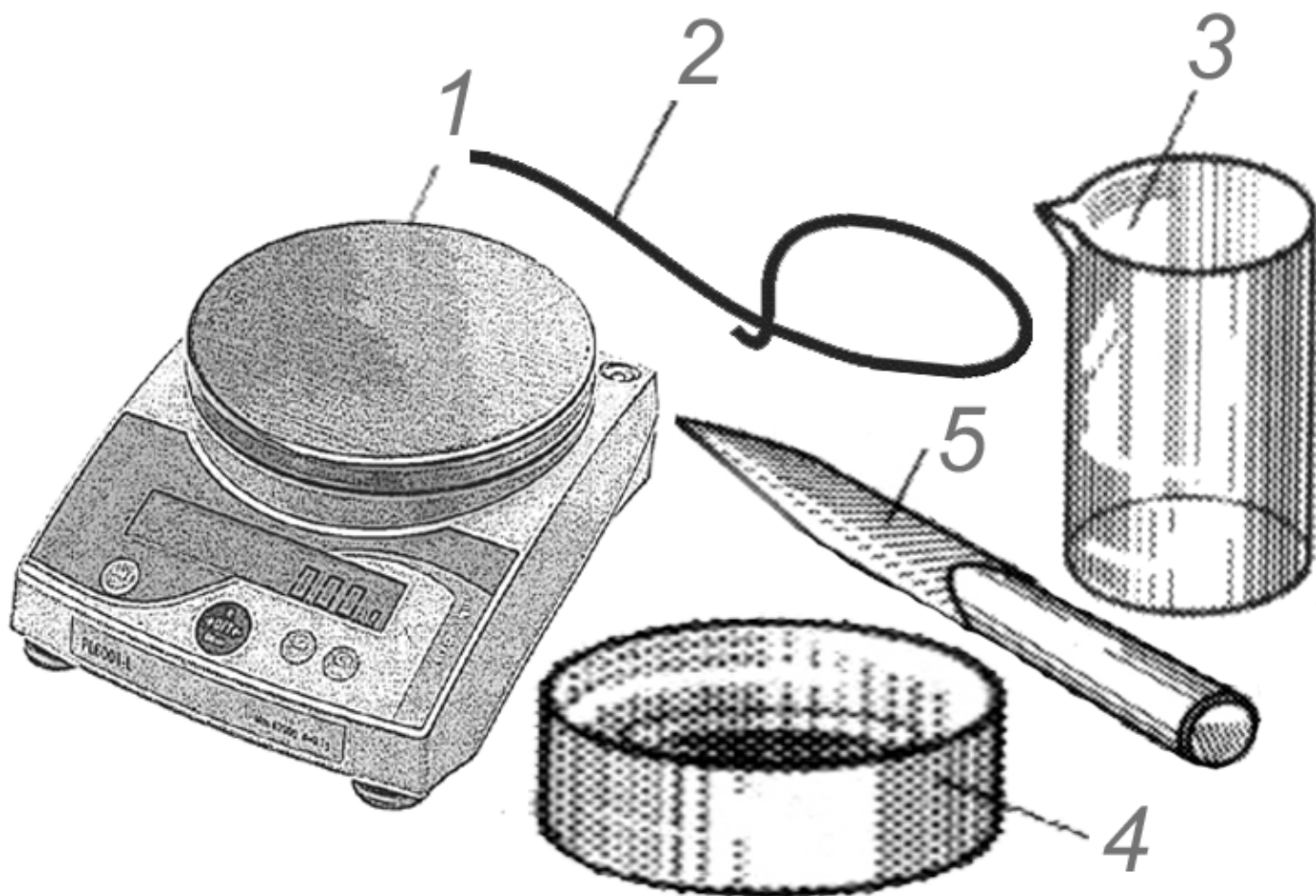


Рис.11. Оборудование, необходимое для определения плотности грунта методом парафинирования.

Образец грунта, покрытый парафином, взвешивают в обычных условиях и при полном погружении его в воду.

Взвешенный образец вынимают из воды, промокают фильтровальной бумагой и взвешивают для проверки герметичности оболочки. Если масса образца увеличилась более чем на 0,02 г по сравнению с первоначальным значением, образец следует забраковать и повторить испытание с другим образцом.

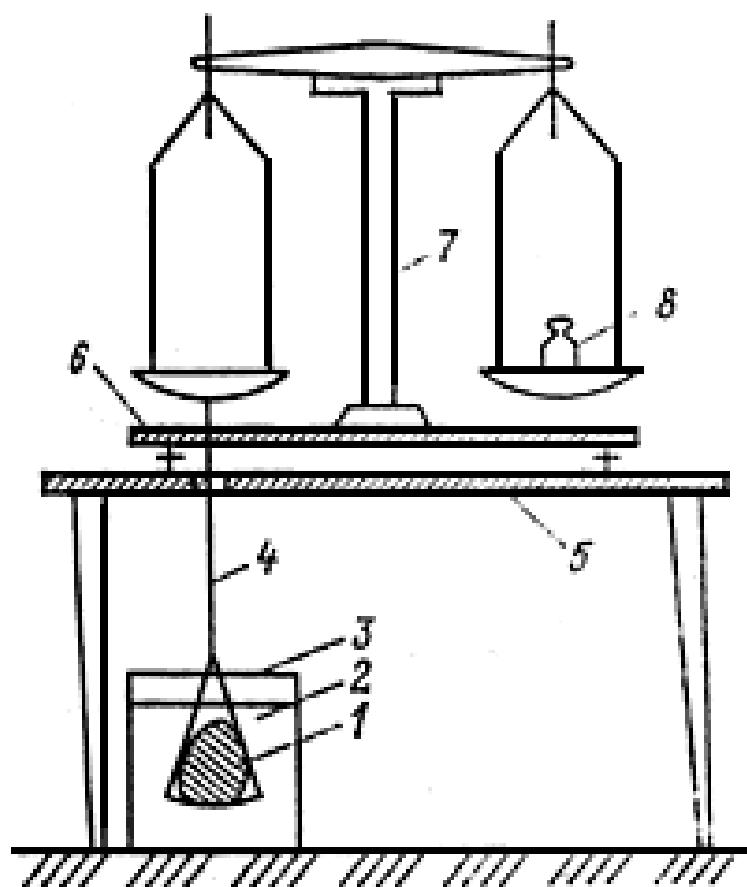


Рис.12. Схема взвешивания парафинированного образца в воде: 1 – образец в парафиновой оболочке; 2 – вода; 3 – емкость; 4 – подвеска (прочная нить); 5 – стол с прорезью; 6 – подставка с прорезью; 7 – весы лабораторные; 8 – гири технические

При обработке результатов испытаний плотность вычисляют с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>. Плотность грунта  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m \rho_p \rho_w}{\rho_p (m_1 - m_2) - \rho_w (m_1 - m)} \quad (2)$$

где  $m$  – масса образца грунта до парафинирования, г

$m_1$  – масса парафинированного образца грунта, г

$m_2$  – масса парафинированного образца грунта в воде, г

$\rho_p$  – плотность парафина – 0,900 г/см<sup>3</sup>

Метод парафинирования является более точным способом определения плотности глинистых грунтов, но является более трудозатратным и дорогим.

3) *Естественная влажность грунта* — свойство грунта, обусловленное наличием в нём различных категорий воды в его естественном залегании. Главной причиной изменения физико-механических свойств грунта является изменение влажности грунта.

Измеряется по ГОСТ 5180-2015 (Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик).

Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы.  
(ГОСТ 5180-2015)

Необходимое оборудование и материалы:

- сушильный шкаф
- лабораторные весы по ГОСТ 24104;
- металлические или стеклянные бюксы по ГОСТ 25336;
- шпатель по ГОСТ 10778.

Пробу грунта для определения влажности отбирают массой 15-50 г, помещают в заранее высушенный, взвешенный ( $m$ ) и пронумерованный бюкс и плотно закрывают крышкой. При отборе пробы из образца нарушенной структуры грунт нужно тщательно перемешать, чтобы влажность распределилась по образцу равномерно.



Рис.13. Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы.

Если в исследуемом грунте присутствуют включения, то при отборе пробы на влажность нужно удалить все видимые включения. Пробу грунта в закрытом бюксе взвешивают. Открытый бюкс помещают в нагретый сушильный шкаф. Грунт высушивают до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 2)$  °С. Высушивание проводят до получения разности масс грунта с бюксом при двух последующих взвешиваниях не более 0,02 г.

Влажность грунта следует определять, как отношение массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта.

Механические свойства грунтов были определены по ГОСТ 12248-2010(Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости)

*Модуль деформации* является параметром, который определяет в физическом смысле «жесткость» грунтов, а в математическом отношении является коэффициентом пропорциональности зависимости «деформация - напряжение». В зависимости от своего происхождения грунты имеют различную жесткость, а, следовательно, и сжимаемость. Наименьшая жесткость, у рыхлого песка и текучепластичной глины или торфа и ила и, наибольшая у плотного песка и тугопластичной или твердой глины. (Болдырев Г.Г., Новичков Г.А, 2008).

Как правило, в большинстве случаев, при проведении инженерно-геологических изысканий модуль деформации грунтов определяется в лаборатории с использованием компрессионных приборов. Один из таких приборов (рис. 14) в составе измерительно-вычислительного комплекса АСИС выпускается ООО «НПП Геотек».



Рис.14. Прибор в составе измерительно-вычислительного комплекса АСИС для проведения испытаний на компрессионное сжатие.

Методика определения компрессионного модуля деформации приведена в ГОСТ 12248-2010.

Характеристики определяют по результатам испытаний образцов грунта в компрессионных приборах (одомерах), исключающих возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой. Результаты испытаний должны быть оформлены в виде графиков зависимостей деформаций образца от нагрузки.

Диапазон давлений, при которых проводят испытания, определяется в программе испытаний с учетом напряженного состояния грунта в массиве, т.е. с учетом передаваемых на основание нагрузок и бытового давления. Во всех случаях конечное давление должно быть больше бытового давления на глубине залегания образца грунта (Болдырев Г.Г., 2008).

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или водонасыщенные или образцы нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности.

Образец грунта вырезают при помощи рабочего кольца. Далее его взвешивают, покрывают с торцов влажными фильтрами и помещают в цилиндрическую обойму компрессионного прибора.

Следующим шагом выполняют следующие операции:

- устанавливают образец на перфорированный вкладыш;
- устанавливают на образец перфорированный штамп;
- собранный прибор устанавливают под механизм для вертикального нагружения образца грунта;
- регулируют механизм нагружения образца;
- подключают устройства для измерения вертикальных деформаций образца.

Нагружение образца проводят ступенями нагрузки равномерно, без ударов. На каждой ступени нагружения образца регистрируют показания приборов для измерения вертикальных деформаций. Начальная ступень задается по таблице 4.

Коэффициент увлажнения грунта $K_{увл}$	Ступени давления $p_i$ , МПа	Время выдерживания ступеней $\Delta t_i$ , ч
< 1,2	0,02	1
1,20 - 1,25	0,015	3
1,26 - 1,35	0,010	10
> 1,35	0,010	24
Примечание - Последнюю ступень нагрузки выдерживают до условной стабилизации деформации.		

Табл.4. Ступени давления и время их выдерживания в зависимости от коэффициента увлажнения грунта по ГОСТ 12248-2010.

После окончания испытания необходимо удалить воду сверху образца и из поддона, опустить арретир, снять нагрузку, взвесить рабочее кольцо с грунтом, определить влажность и массу сухого грунта (Болдырев Г.Г., 2009)..

*Сопротивление грунта сдвигу  $\tau$*  является одной из важнейших его характеристик, так как характеризует устойчивость грунта в откосах выемок и насыпей, а также в основаниях различных инженерных сооружений. Сопротивление грунта срезу

определяют, как предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении. Для определения частных значений  $\varphi$  и  $C$  необходимо провести не менее трех испытаний идентичных образцов при различных значениях нормального напряжения. Угол внутреннего трения и сцепление вместе составляют сопротивление грунтов сдвигу.

Удельное сцепление грунта  $C$  - прочностная характеристика, определяемая как сопротивление структурных связей нескальных грунтов любому перемещению связываемых ими частиц (Болдырев Г.Г., 2009).

Угол внутреннего трения  $\varphi$  характеризует трение между частицами грунта и в большей степени зависит от величины вертикального давления на грунт. Значение его для разных грунтов колеблется от 15 до 43° (Тер-Мартirosян З.Г., 2005, Болдырев Г.Г., Новичков Г.А., 2008).

Для испытания образцов грунта для получения прочностных характеристик используют метод одноплоскостного среза с заданной скоростью деформаций среза по ГОСТ 12248-2010 в составе комплекса «АСИС».

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или в водонасыщенном состоянии или образцы нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности (в том числе при полном водонасыщении), или образцы, отобранные из массива искусственно уплотненных грунтов. Образцы должны иметь форму цилиндра диаметром не менее 70 мм и высотой от 1/3 до 1/2 диаметра. Максимальный размер фракции грунта (включений, агрегатов) в образце должен быть не более 1/5 высоты образца. Изготовленный образец взвешивают. (ГОСТ 12248-2010).





Рис.15. Прибор в составе измерительно-вычислительного комплекса АСИС для проведения испытаний методом одноплоскостного среза.

Рабочее кольцо с образцом грунта помещают в срезную коробку и закрепляют в ней. Далее устанавливают сплошной штамп, регулируют механизм нагрузки, устанавливают зазор между подвижной и неподвижной частями срезной коробки (0,5 мм для глинистых и органоминеральных грунтов и 1 мм - для песков), устанавливают устройство для измерения деформации среза и записывают его начальное показание (Тер-Мартirosян З.Г, 2005).

Нормальную нагрузку следует передать на образец в одну ступень и выдержать ее не менее:

- 5 мин - для песков;
- 15 мин - для супесей;
- 30 мин - для суглинков и глин.

Значение максимального нормального давления  $p_{max}$  устанавливают в зависимости от предполагаемого напряженного состояния грунтового массива (с учетом передаваемых на основание нагрузок и бытового давления). Значения нормальных давлений  $p_{min}$  и  $p_i$ , при которых определяют сопротивление срезу  $\tau$ , устанавливают, как часть  $p_{max}$  (например,  $0,25p_{max}$ ,  $0,5p_{max}$  и т.д.).

Грунты	Нормальное давление $p$ , МПа
Глинистые и органо-минеральные грунты с показателями текучести:	
$0,5 \leq I_L < 1,0$	0,05; 0,1; 0,15
$I_L \geq 1,0$	0,025; 0,075; 0,125

Табл.5. Значения нормальных давлений при срезе в соответствии ГОСТ 12248-2010.

Сразу после передачи нормальной нагрузки приводят в действие механизм создания горизонтальной нагрузки и проводят срез образца грунта не более чем за 2 мин с момента приложения нормальной нагрузки. Испытание следует считать законченным, если при приложении очередной ступени срезающей нагрузки произойдет мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или относительная деформация образца превысит 10 % (в зависимости от того, что наступит раньше). По окончании испытания следует зафиксировать максимальную срезающую нагрузку в процессе испытания, а также разгрузить образец, извлечь рабочее кольцо с образцом из прибора и отобрать пробы для определения влажности из средней части образца (ГОСТ 12248-2010).

#### **Методы полевого изучения грунтов.**

Полевые испытания грунтов являются одним из этапов инженерно-геологических исследований. Они проводятся для определения физических и механических характеристик природных грунтов или контроля качества работ и проектных значений характеристик грунтов при устройстве земляных насыпей, плотин, дамб, откосов, обратных засыпок котлованов, подпорных стен и др. Вследствие многообразия природных грунтов и условий их залегания используются различные методы испытаний для дисперсных, скальных и мерзлых грунтов.

В инженерных изысканиях, проводимых в городе Санкт-Петербурге чаще всего используется метод статического зондирования грунтов проводимый по ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. Именно этому полевому методу посвящена данная работа.

Под зондированием понимается процесс погружения в грунт специального устройства – зонда с измерением показателей сопротивления грунта такому погружению. Это способ быстрого изучения грунта в состоянии его естественного залегания, чаще всего производимого на глубину до 10-20 м. Зондирование называется статическим, если

погружение происходит под действием статической вдавливающей нагрузки (ГОСТ 19912-2012).

Статическое зондирование является в настоящее время одним из основных методов изучения грунтовых условий, который в истекшем XX веке претерпел сложную эволюцию от простейших щупов, вдавливаемых вручную, до мощных мобильных установок с высокомеханизированным управлением и автоматизированной системой измерений. С помощью зондирования удастся оценивать грунт в состоянии его естественного залегания (*in situ*) с максимальной эффективностью.

При этом главными достоинствами статического зондирования является его быстрота и простота, т.е. возможность проведения большого числа измерений в кратчайшие сроки. Необходимость в этом связана с двумя обстоятельствами.

Во-первых, изучаемый грунт всегда неоднороден, его свойства различны в каждой точке обследуемой площадки. Малочисленные полевые и лабораторные испытания грунта не гарантируют необходимой полноты получаемой информации, как бы точны они ни были. Всегда остаются опасения, что между буровыми скважинами или точками полевых испытаний остались незамеченными «слабые» или «прочные» линзы грунта, что фактические границы между пластами (слоями грунта) отличаются от принятых, т.е. указываемых на литологическом разрезе, и т.д. Просчеты такого типа нередко становятся причинами повреждения или даже обрушения построенных объектов. Естественно, что для предотвращения подобных ситуаций необходимо оценивать грунтовые условия площадки по возможно большему числу опытов, что и требует быстрых и мало затратных методов таких как статическое зондирование.

Во-вторых, рациональное использование быстрых и дешевых методов изучения грунта («экспресс-методов»), к каким относится статическое зондирование, - наиболее реальный способ сокращения продолжительности инженерных изысканий. Частичная замена буровых скважин и дорогостоящих испытаний грунта на статическое зондирование, как правило, обеспечивает сокращение сроков изыскательских работ даже при значительном увеличении числа опытов зондирования.

Последние десятилетия во всех развитых странах проводились обширные исследования статического зондирования. Этот метод является одним из популярнейших методов изучения грунтов. Ему посвящаются большое количество монографий, а также международные симпозиумы по вопросам его применения. Разработаны национальные и международные стандарты, регламентирующие применение статического зондирования.

В бывшем СССР статическому зондированию также уделялось большое внимание. В 60-80-е годы интерес к зондированию и значительной мере был связан с широким применением фундаментов из забивных свай, проектирование которых оказывалось наиболее эффективным при использовании именно статического зондирования. В районах страны, где метод применялся наиболее широко и квалифицированно, наблюдалось более высокое качество возведения свайных фундаментов.

Статическое зондирование как метод испытания грунта с помощью механизированных установок появилось в XX веке, однако в упрощенном виде оно применялось не менее 250 лет. В середине XIX начали появляться простые ручные устройства – щупы, представляющие из себя железные штанги с заостренным наконечником.

В 1917 году Министерство железных дорог Швеции разработало простейший прибор для зондирования, который представлял собой усовершенствованный вариант рассмотренных выше зондов-щупов. От щупов он отличался наконечником, имевшим винтовую форму, и возможностью установления на нем специальных грузов. Прибор использовался для оценки консистенции глинистых грунтов. После вдавливания на глубину, достижимую физическим усилием испытателя, такой зонд нагружался ступенями до 100 кг. При этом измерялось погружение, вызываемое каждой ступенью нагрузки. Далее испытание продолжалось путем ручного завинчивания зонда, в процессе которого замерялось погружение за каждые 50 оборотов. Разработанный прибор и методика его использования на многие годы пережили своих разработчиков и применяются до настоящего времени. Ручные устройства с коническими наконечниками (как правило, без винтовой нарезки) в дальнейшем получили широкое распространение в Дании, Голландии, Швейцарии, Норвегии и ряде других стран. Однако в процессе их применения стало очевидным, что в условиях строительства XX века нужны не ручные зонды, погружаемые физическими усилиями испытателей, а достаточно мощные устройства, способные погружать зонды на значительные глубины (не менее 10 м) в любые дисперсные грунты (глинистые или песчаные). При этом параметры зонда и измерительный комплекс должны обеспечивать достаточно высокую надежность и точность результатов измерений. В этой связи начиная с 30-х годов усилия специалистов многих стран были направлены на создание именно таких устройств. В 1917 году Министерство железных дорог Швеции разработало простейший прибор для зондирования, который представлял собой усовершенствованный вариант рассмотренных выше зондов-щупов. От щупов он отличался наконечником, имевшим винтовую форму, и

возможностью установления на нем специальных грузов. Прибор использовался для оценки консистенции глинистых грунтов. После вдавливания на глубину, достижимую физическим усилием испытателя, такой зонд нагружался ступенями до 100 кг. При этом измерялось погружение, вызываемое каждой ступенью нагрузки. Далее испытание продолжалось путем ручного завинчивания зонда, в процессе которого замерялось погружение за каждые 50 оборотов. Разработанный прибор и методика его использования на многие годы пережили своих разработчиков и применяются до настоящего времени.

Ручные устройства с коническими наконечниками (как правило, без винтовой нарезки) в дальнейшем получили широкое распространение в Дании, Голландии, Швейцарии, Норвегии и ряде других стран. Однако в процессе их применения стало очевидным, что в условиях строительства XX века нужны не ручные зонды, погружаемые физическими усилиями испытателей, а достаточно мощные устройства, способные погружать зонды на значительные глубины (не менее 10 м) в любые дисперсные грунты (глинистые или песчаные). При этом параметры зонда и измерительный комплекс должны обеспечивать достаточно высокую надежность и точность результатов измерений. В этой связи начиная с 30-х годов усилия специалистов многих стран были направлены на создание именно таких устройств (И. Б. Рыжков, 2010).

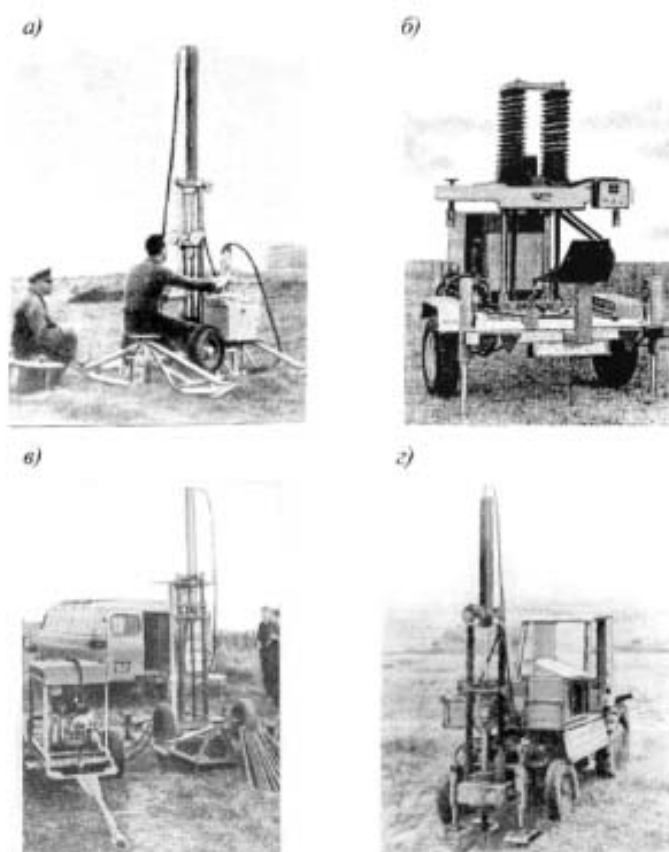


Рис.16. Типичные зондировочные установки середины XX века. (И. Б. Рыжков, 2010).

Наибольшее внимание этой проблеме уделяли нидерландские специалисты. Ими были сконструированы первые механизированные установки, которые, как показала последующая практика, на многие годы предопределили развитие зондировочного оборудования во всем мире. В этих установках зонд вдавливался в грунт механическими устройствами домкратами (гидравлическими или реечными), с помощью цепей, талей, различных противовесов (Robertson, P.K., 2010)

Одной из первых зондировочных установок, была сконструированной Дельфтской лабораторией механики грунтов в 1935 году, установка Т.К. Хейзинга (Lunne T., 2004).

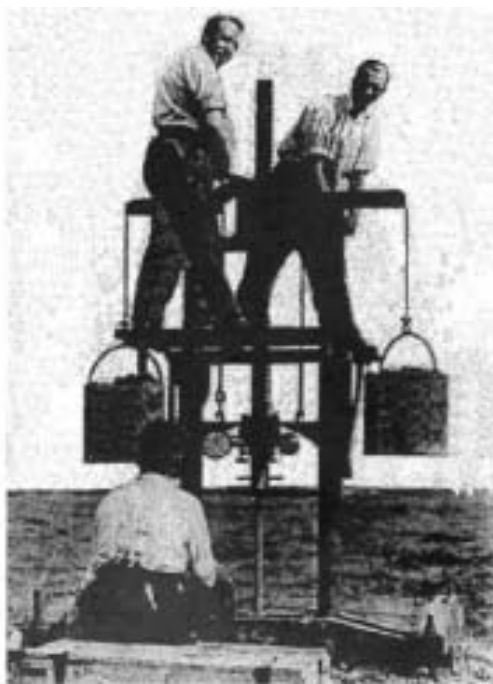


Рис.17. Установка Т.К. Хейзинга (Lunne T., 2004)

Более удачными установками зондирования оказались системы с гидравлическими домкратами. Вдавливающее устройство находилось на горизонтальной балке, перемещающиеся вверх-вниз по двум направляющим стойкам. Такое конструктивное решение быстро обрело популярность в мире. Стойки крепились на жесткой станине, которая могла дополнительно нагружаться тем или иным способом. В первых установках в качестве пригруза нередко использовались насыпной грунт, либо емкости с водой. (И. Б. Рыжков, 2010).

Проблема восприятия реактивных усилий при вдавливании зонда возникла на первых же этапах перехода от мелкого зондирования к глубинному. Наиболее эффективным решением оказалось использование винтовых анкерных свай, которые в дальнейшем вытеснили практически все прочие способы восприятия анкерных усилий. Лишь во второй половине XX века, когда популярность стали приобретать установки на

тяжелых базовых машинах, эта проблема стала утрачивать свою остроту, так как вес таких машин в большинстве случаев оказывался достаточным для восприятия реактивных усилий и без анкеровки (Рис. 18).

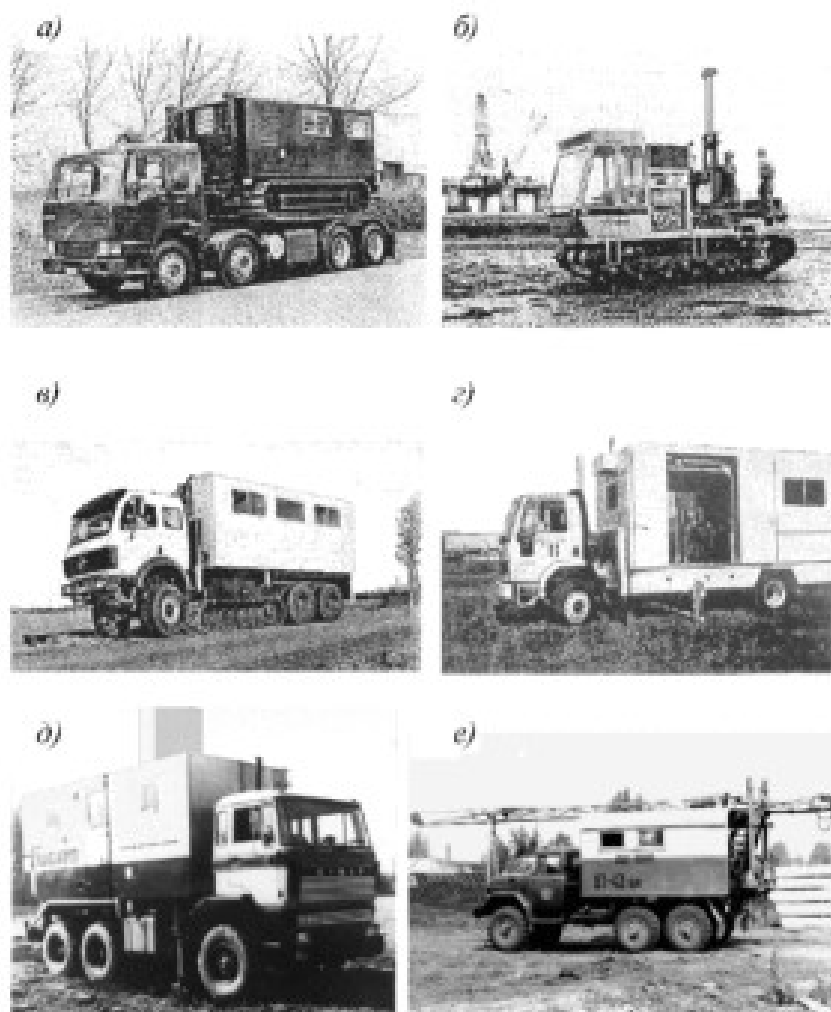


Рис.18. Типичные тяжелые зондировачные установки конца XX века. (И. Б. Рыжков, 2010).

Современный зонд представляет устройство, включающее «штангу» (металлический стержень) и специальный конический наконечник («конус»), который закреплен на конце этой штанги. Вдавливающее усилие (статическое или динамическое) передается на конический наконечник через штангу, которая может состоять из отдельных звеньев, наращиваемых в процессе погружения, или из единого звена.

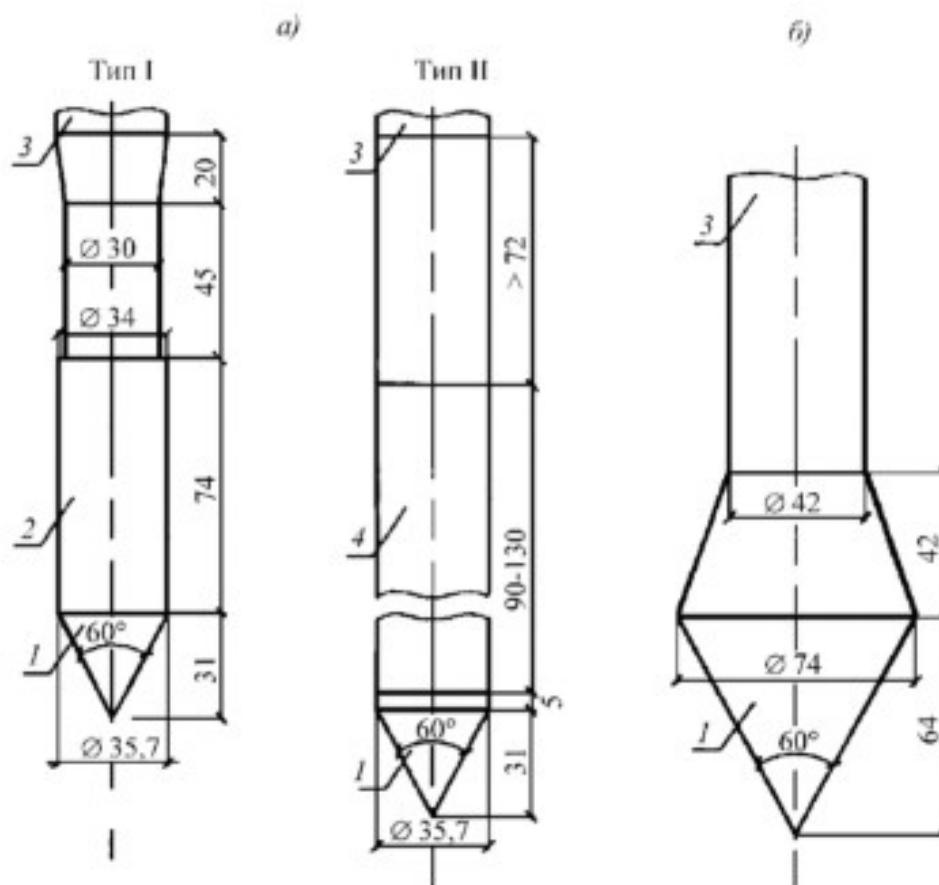


Рис.19. Разновидность зондов для статического (а) и динамического (б) зондирования(И. Б. Рыжков, 2010).

1-конус, 2-кожух, 3-штанга, 4-муфта трения.

При статическом зондировании обычно измеряются следующие величины:

- сопротивление грунта под конусом зонда  $q_c$ , (МПа- КПа) – сила сопротивления этого грунта проникновению конуса в него, отнесенная к площади основания конуса (иногда используется термин «лобовое сопротивление зонда»);
- удельное сопротивление грунта на муфте трения  $f_s$  (МПа или кПа)- представляет сопротивление грунта на коротком участке боковой поверхности - муфте трения, отнесенное к площади боковой поверхности этой муфты трения (Захаров М.С.,2007)

Именно регистрация, обработка и анализ этих данных позволяет судить об изменчивости литологического состава, несущей способности и других физико-механических свойств грунтов.



### **Глава 3. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий.**

Для выполнения данной работы были проанализированы данные изысканий с 7 объектов проектирования жилых массивов в разных районах города Санкт-Петербурга, а также с 2 объектов территориально располагающиеся в Всеволожском районе Ленинградской области вблизи станции метро Девяткино. Материалы были получены в ходе моей работы в компании ООО «ЛенСтройГеология» с 2014 г. Лично участвовал в проведении как лабораторных, так и полевых работах с их камеральной обработкой.

Объекты выбраны не случайно. Каждый объект представляет территорию перспективную к застройке, из разных районов города (Рис.19). Районы города, следующие:

- Адмиралтейский;
- Выборгский;
- Красносельский;
- Невский;
- Петродворцовый;
- Приморский;
- Фрунзенский.

Всеволожский район Ленинградской области также выбран не случайно, потому что, располагающиеся в поселке Мурино и деревне Новое Девяткино объекты исследования, являются перспективным участками современной застройки.

Инженерно-геологические изыскания выполнены на основании требований нормативных документов СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства», СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» и других действующих документов.

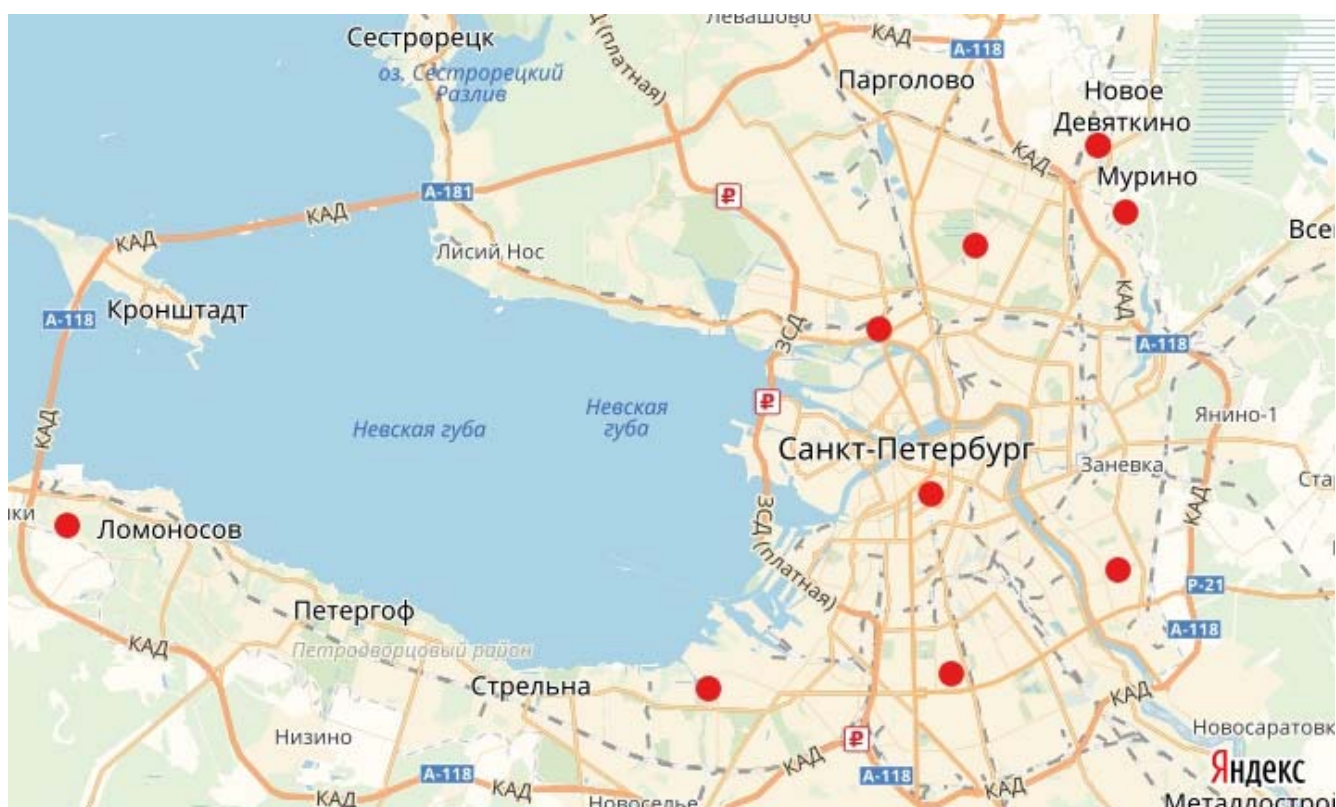


Рис.20. Карта Санкт-Петербурга с отметками о фактическом географическом положении объектов изысканий рассмотренных в работе (Интернет-ресурс yandex-карты).

Всего для обработки данных было использовано около 300 точек статического зондирования разной глубины, а также более 6500 пог.м. бурения.

В ходе выполнения работы проанализировано более 1500 определений физических и 820 механических свойств грунтов.

На основании статистической обработки по данным лабораторных работ и полевых испытаний выделены общие литологические слои и инженерно-геологические элементы.

*Объект 1* Располагается на территории д. Новое Девяткино.

В ходе изысканий проведено 21 испытание статическим зондированием, глубиной от 11,5 до 18,7 м, общим метражом 320,2 п. м. Пробурены 14 скважин глубиной по 35,0 м. Общий объем бурения составил 490,0 п.м. Лабораторные работы проведены в соответствии с нормативными документами. Комплекс определений физико-механических свойств глинистых грунтов ненарушенной структуры составил 173 испытания. В том числе 51 определений деформационных характеристик (компрессионное сжатие) и 64 определения прочностных характеристик (НН-сдвиг).

В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах Приневской низины. Рельеф участка представляет собой равнинный пологий склон к р. Охта. Поверхность участка частично изрыта, абс. отм. 17,9 - 19,3 м (по устьям выработок), местами покрыта луговой растительностью. По периферии участка расположены подземные и надземные коммуникации, дороги и проезды. На участке ведутся земляные работы. В геологическом строении участка на глубину до 35,0 м принимают участие современные ( $Q_{IV}$ ) техногенные образования ( $t_{IV}$ ), верхнечетвертичные ( $Q_{III}$ ) озерно-ледниковые ( $lg_{III}$ ) и ледниковые ( $g_{III}$ ) отложения, среднечетвертичные ( $Q_{II}$ ) флювиогляциальные ( $f_{II}$ ) и ледниковые ( $g_{II}$ ) отложения. С поверхности, местами, вскрыт почвенно-растительный слой, мощностью до 0,2 м.

Современные техногенные образования представлены на участке работ насыпными грунтами – суглинками, супесями и песками. Срок отсыпки не превышает 1-го года. Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены песками пылеватыми, ленточными и слоистыми суглинками от текучей до текучепластичной консистенции, слоистыми пластичными супесями. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены супесями твердой консистенции и суглинками от полутвердой до мягкопластичной консистенции. Ледниковые грунты с включениями гравия, гальки и валунов. Среднечетвертичные флювиогляциальные отложения представлены гравелистыми песками. Среднечетвертичные ледниковые отложения представлены супесями твердой консистенции. Грунты с включениями гравия, гальки и валунов.

Инженерно-геологические условия участка сформировались под действием природных и техногенных факторов: геологического строения, геоморфологического положения, историческим освоением территории и характеризуются:

- техногенным рельефом (абс. отм. 17,9 - 19,3 м);
- распространением насыпных грунтов ( $t_{IV}$ );
- распространением толщи тиксотропных озерно-ледниковых ( $lg_{III}$ ) глинистых грунтов текучепластичной консистенции с пониженными прочностными и деформационными характеристиками;
- относительной выдержанностью геологического разреза.

С этого объекта в расчетах участвуют данные полученные из лабораторных и полевых изысканий верхнечетвертичные озерно-ледниковые представленные коричневыми

ленточными суглинками и серыми слоистыми суглинками (lg III) и ледниковые (g III) отложения – супеси твердые с гравием.

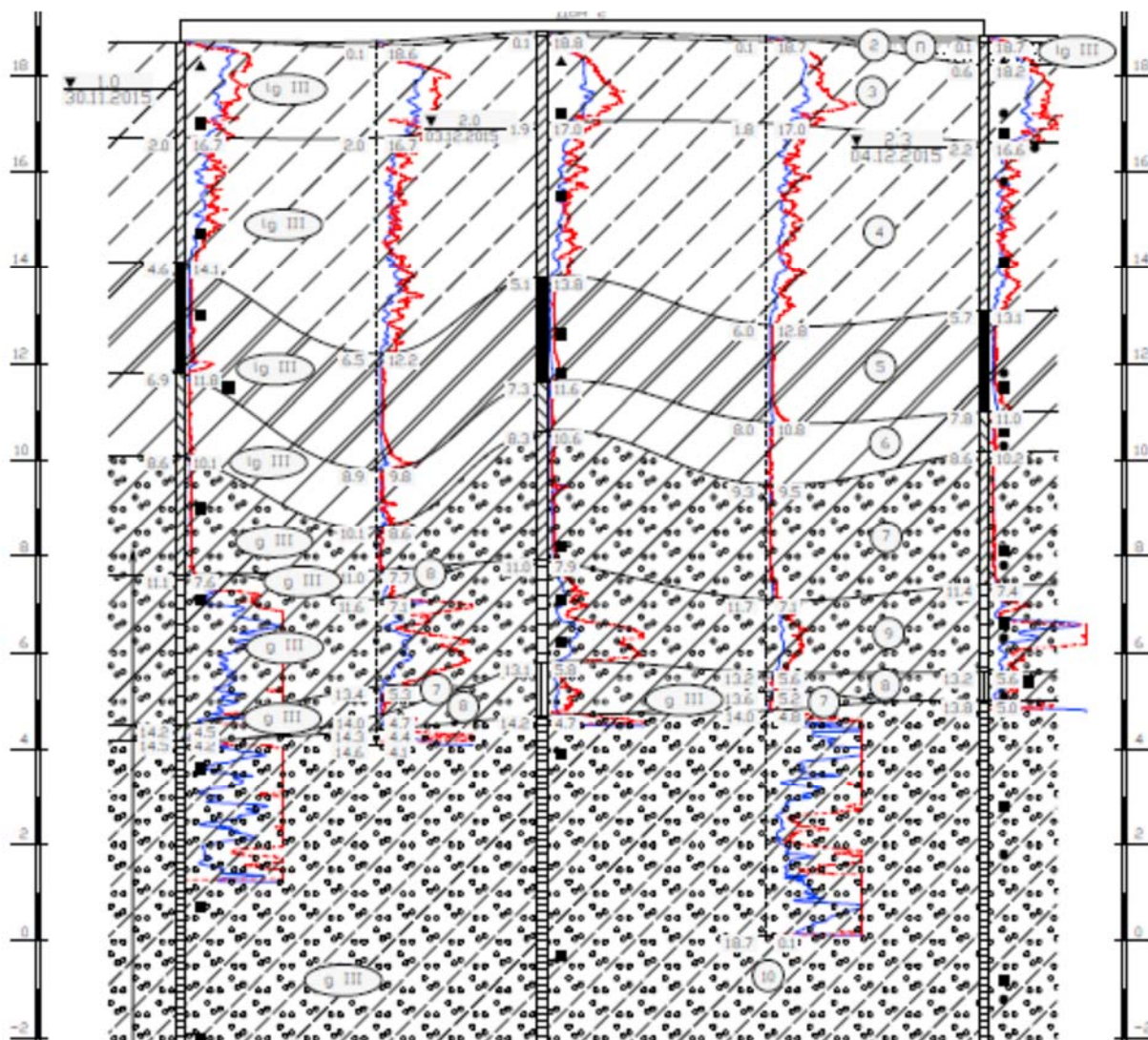


Рис.21. Инженерно-геологический разрез объекта в д.Новоос Девяткино.

Объект 2 располагается в пос. Мурино.

В ходе изысканий проведено 17 испытаний статического зондирования, глубиной от 14,8 до 18,2 м. Общим метражом 282,6 п. м. Всего пробурено 12 скважин глубиной по 35,0 м. Общий объем бурения составил 420,0 п.м. Лабораторные работы: Комплекс определений физических свойств глинистых грунтов ненарушенной структуры 150 образцов. Из них 41 определение деформационных характеристик (компрессионное сжатие); 56 определение прочностных характеристик. В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах Приневской низины. Поверхность частично изрыта, рельеф равнинный с абс. отм. 18,4 – 19,7 м (по устьям выработок),

поверхность местами покрыта луговой растительностью. По периферии участка расположены подземные и надземные коммуникации, дороги и проезды.

В геологическом строении участка на глубину до 35,0 м принимают участие современные (Q<sub>IV</sub>) техногенные образования (t<sub>IV</sub>), верхнечетвертичные (Q<sub>III</sub>) озерно-ледниковые (lg III) и ледниковые (g III) отложения и среднечетвертичные (Q<sub>II</sub>) ледниковые (g II), флювиогляциальные (f II) отложения. С поверхности местами вскрыт почвенно-растительный слой, мощностью от 0,1 до 0,2 м.

Современные техногенные образования представлены на участке работ насыпными грунтами – супесями со строительным мусором, песком и щебнем с растительными остатками. Срок отсыпки не превышает 1-го года. Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены ленточными и слоистыми суглинками от текучей до текучепластичной консистенции, слоистыми пластичными супесями, а также песками пылеватыми. Глинистые грунты тиксотропные. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены супесями пластичной и полутвердой и твердой консистенции и суглинками мягкопластичной, тугопластичной и порлутвердой консистенции. Ледниковые грунты с включениями гравия, гальки и валунов. Среднечетвертичные флювиогляциальные представлены песками гравелистыми плотными насыщенными водой. Среднечетвертичные ледниковые отложения представлены супесями твердой консистенции и песками гравелистыми. Грунты с включениями гравия, гальки и валунов.

Инженерно-геологические условия участка намечаемого строительства сформировались под действием природных и техногенных факторов: геологического строения, геоморфологического положения, историческим освоением территории и характеризуются:

- преимущественно равнинным рельефом (абс.отм. 18,4 – 19,7 м);
- распространением насыпных грунтов (t IV);
- распространением толщи озерно-ледниковых (lg III) глинистых тиксотропных грунтов от текучей до текучепластичной консистенции с пониженными прочностными и деформационными характеристиками;
- относительной выдержанностью геологического разреза.

С этого объекта в расчетах участвуют данные полученные из лабораторных и полевых изысканий верхнечетвертичные озерно-ледниковые представленные коричневыми ленточными суглинками и серыми слоистыми суглинками (lg III) и ледниковые (g III) отложения – супеси твердые с гравием.



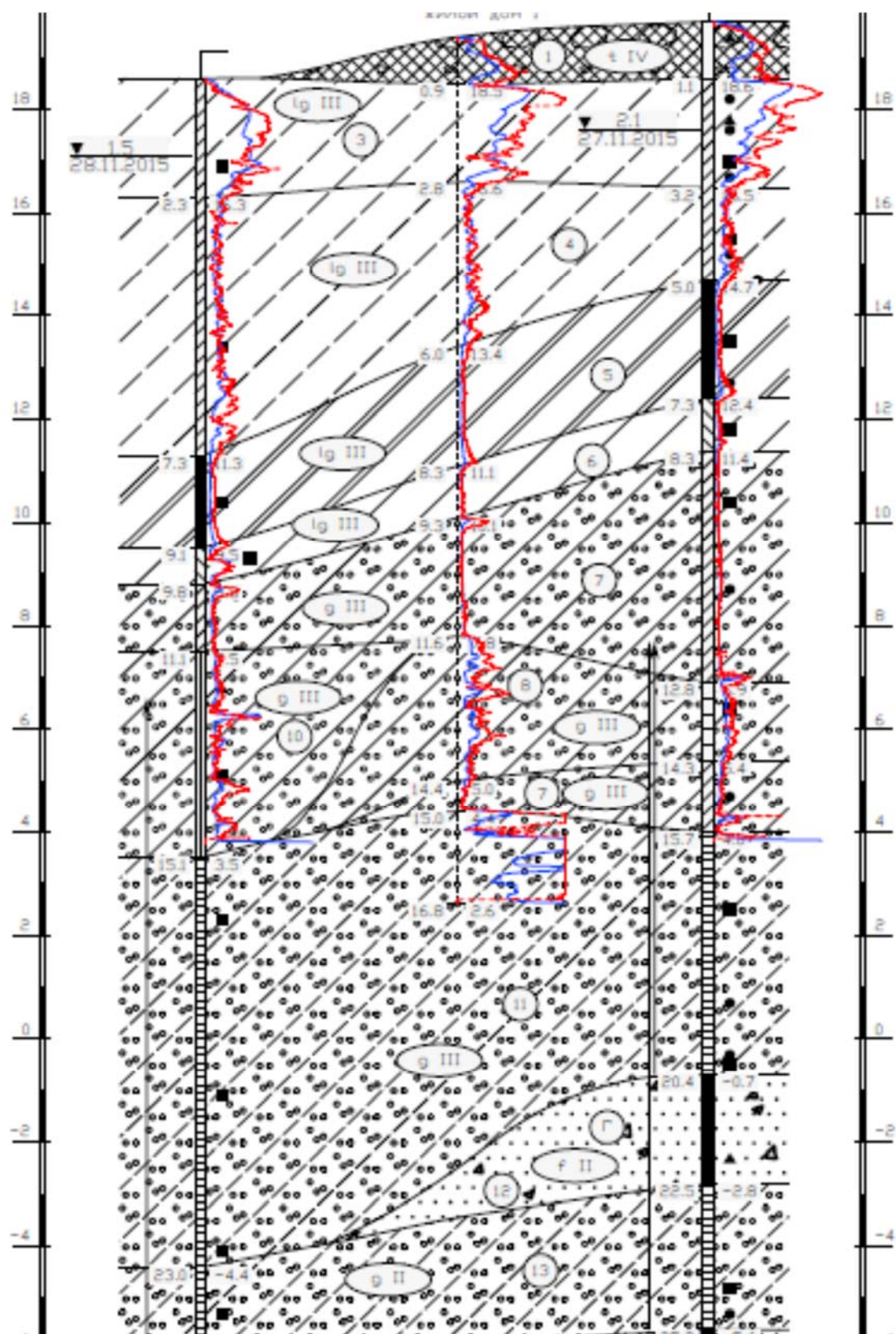


Рис.22. Инженерно-геологический разрез объекта в пос. Мурино.

Объект 3 располагается в Выборгском районе г. Санкт-Петербурга.

В ходе изысканий проведено 9 испытаний статического зондирования, глубиной от 28,3 до 33,6 м. Общим метражом 290,7 п. м. Всего пробурено 8 скважин глубиной по 40,0

м. Общий объем бурения составил 320,0 п.м. Лабораторные работы: комплекс определений физико-механических свойств глинистых грунтов ненарушенной структуры – 171; в том числе 55 определений определение деформационных характеристик, 59 определений Определение прочностных характеристик (НН-сдвиг).

В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах северной возвышенной части Приморской равнины. Участок работ располагается в пределах городской застройки. Поверхность спланирована насыпными грунтами до абс. отм. 21,1 – 21,9 м (по устьям выработок), срок отсыпки превышает 10 лет. Участок частично покрыт почвенно-растительным слоем, частично – асфальтом (проезды), имеются высокорослые деревья и кустарники. В геологическом строении участка на глубину до 40,0 м принимают участие современные (Q<sub>IV</sub>) техногенные образования (t<sub>IV</sub>); верхнечетвертичные (Q<sub>III</sub>) озерно-ледниковые (lg III) и ледниковые (g III) отложения; среднечетвертичные (Q<sub>II</sub>) озерно-ледниковые (lg II) и, в основании разреза, ледниковые (g II) отложения.

Современные техногенные образования представлены на участке работ насыпными грунтами – песками преимущественно средней крупности, с включениями обломками кирпичей с примесью органики. Срок отсыпки превышает 10 лет. Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены мощной толщей песчаных грунтов и, в основании, глинистыми грунтами. Глинистые грунты представлены (сверху вниз) текучими ленточными суглинками, слоистыми текучепластичными суглинками и пластичными слоистыми супесями. Грунты тиксотропные. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены пластичными супесями с включениями гравия, гальки и валунов. В толще ледниковых отложений, вскрыт слой озерно-ледниковых (lgIII) отложений. Внутриморенные отложения представлены мелкими песками. Среднечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены слоистыми тиксотропными тяжелыми суглинками мягкопластичной консистенции (прослоями тугопластичной). Среднечетвертичные ледниковые отложения представлены супесями твердой консистенции, также по разрезу отложений отмечены крупные линзы песков.

Инженерно-геологические условия участка сформировались под действием природных и техногенных факторов: геологического строения, геоморфологического положения, историческим освоением территории и характеризуются:

- спланированным рельефом (абс. отм. 21,1 – 21,9 м);



- техногенной нагрузкой: наличием зданий, сооружений и коммуникаций непосредственно в пятне застройки; наличием жилых зданий в 25-42 м от пятна застройки;
- распространением с поверхности мощной динамически не устойчивой песчаной толщи озерно-ледниковых (lg III) грунтов;
- распространением тиксотропных грунтов;
- относительной выдержанностью разреза.

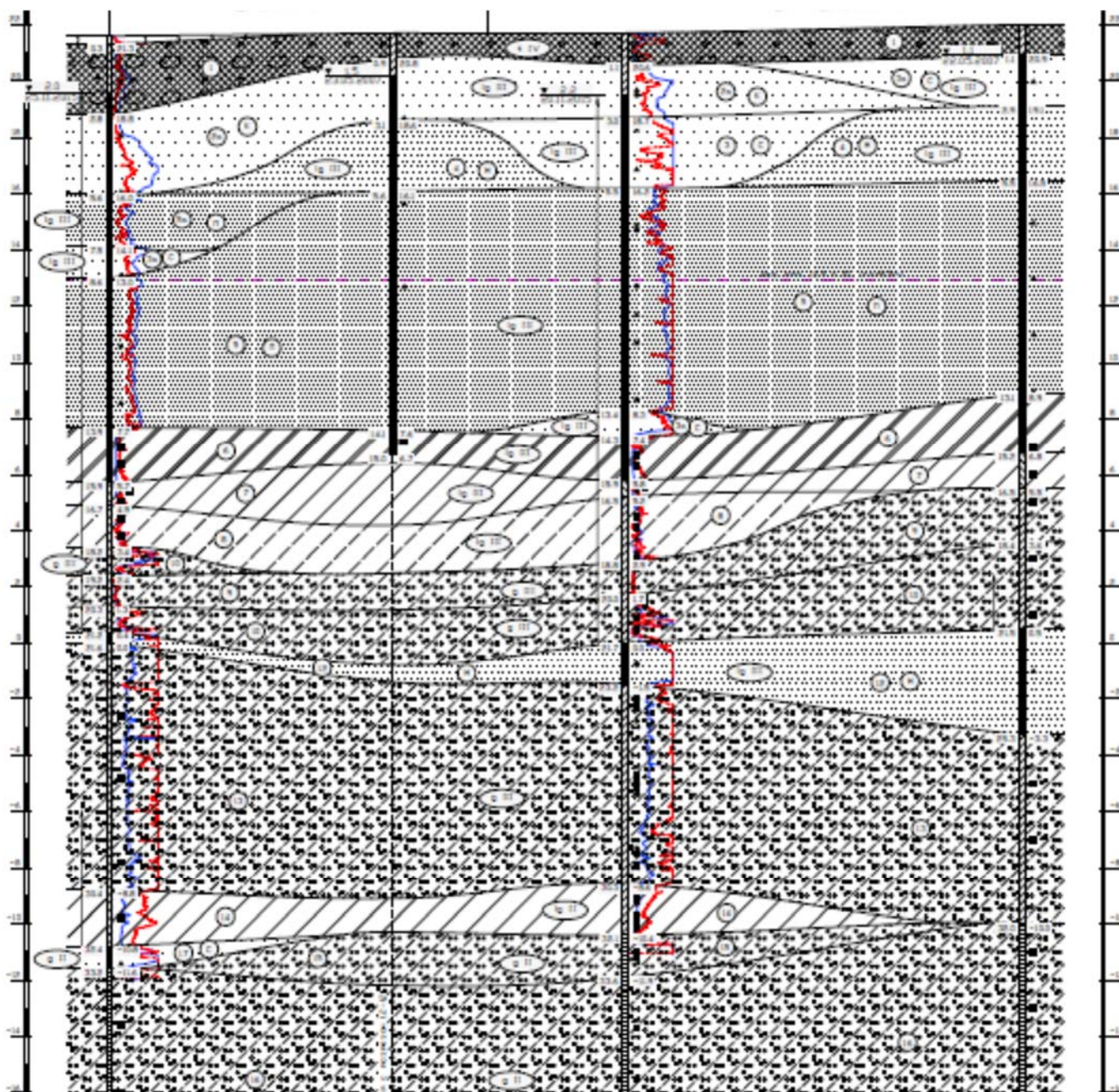


Рис.23. Инженерно-геологический разрез объекта в Выборгском районе г. Санкт-Петербурга.

С этого объекта в расчетах участвуют данные полученные из лабораторных и полевых изысканий верхнечетвертичные озерно-ледниковые представленные



коричневыми ленточными суглинками и серыми слоистыми суглинками (lg III) и ледниковые (g III) отложения – супеси твердые с гравием. А также среднечетвертичными ледниковыми отложениями представленными супесями твердой консистенции.

*Объект 4* располагается в Приморском районе г. Санкт-Петербурга.

В ходе изысканий проведено 65 испытаний статического зондирования. Глубина зондирования составила от 14,8 до 28,5 м. Общий метраж 1432,2 п. м. Всего пробурено 55 скважин глубиной по 35,0 м. Общий объем бурения составил 1950,0 п. м. Комплекс определений физико-механических свойств глинистых грунтов ненарушенной структуры - 557 определений.

В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах Приморской низины, на спланированной насыпными грунтами территории. Природный рельеф отсутствует, поверхность равнинная с абс. отм. 3,3-4,3 м (по устьям выработок). Территория застроена.

В геологическом строении участка на глубину бурения до 35,0 м принимают участие современные (Q<sub>IV</sub>) техногенные образования (t IV), нерасчлененные морские и озерные (m, l IV), верхнечетвертичные (Q<sub>III</sub>) озерно-ледниковые (lg III) и ледниковые (g III), среднечетвертичные (Q<sub>II</sub>) озерно-ледниковые (lg II), флювиогляциальные (f II), ледниковые (g II) и верхневендские (Vkt<sub>2</sub>) отложения.

Современные техногенные образования представлены на участке работ насыпными грунтами – песками и супесями, щебнем со строительным мусором. Срок отсыпки – различный. Основная часть насыпных грунтов отсыпана более 40 лет назад. Современные морские и озерные отложения представлены пластичными супесями и пылеватými песками. Грунты слоистые, с растительными остатками, глинистые грунты - тиксотропные. Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены пылеватými песками и средними, текучими тяжелыми ленточными суглинками, легкими текучепластичными слоистыми суглинками, а также пластичными супесями. Глинистые грунты - тиксотропные, с прослоями песков. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены пылеватými плотными песками, пластичными супесями и суглинками текучепластичной консистенции. Грунты с включениями гравия, гальки и валунов. Среднечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены тяжелыми пылеватými суглинками, тугопластичной и мягкопластичной консистенций. Грунты – слоистые. Среднечетвертичные флювиогляциальные отложения представлены плотными пылеватými, мелкими, средними и крупными песками. Среднечетвертичные ледниковые

отложения представлены твердыми супесями с прослоями песков, линзами плотных гравелистых, средних и пылеватых песков. Грунты с включениями гравия, гальки и валунов. Верхневендские отложения (котлинские) представлены твердыми глинами, в кровле – дислоцированными.

С этого объекта в расчетах участвуют данные полученные из лабораторных и полевых изысканий верхнечетвертичные озерно-ледниковые представленные коричневыми ленточными суглинками и серыми слоистыми суглинками (lg III) и ледниковые (g III) отложения – супеси твердые с гравием. А также среднечетвертичными ледниковыми отложениями представленными супесями твердой консистенции.

*Объект 5* располагается в Адмиралтейском районе г. Санкт-Петербурга.

Входе изысканий всего проведено 14 испытаний статического зондирования, глубиной 24,4-28,7 м. Пробурено 10 скважин глубиной 35-40 м. Общий объем бурения составил 380 п. м. Лабораторные работы проведено 176 определений физико-механических свойств грунтов ненарушенной структуры.

В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах Приморской низины. Природный рельеф отсутствует, часть участка спланирована насыпными грунтами до абсолютных отметок 4,5 - 5,1 м. В геологическом строении участка на глубину до 40 м принимаю участие современные (Q<sub>IV</sub>) техногенные (t IV) образования, нерасчлененные биогенные и техногенные (b,t IV) образования и нерасчлененные морские и озерные отложения (m,l IV), верхнечетвертичные (Q<sub>III</sub>) озерно-ледниковые (lg III) и ледниковые (g III) отложения, подстилаемые верхневендскими отложениями (V<sub>kt2</sub>).

Современные техногенные образования представлены на участке работ насыпными грунтами – песками с включениями строительного мусора, щебня, гнезд заторфованного грунта. Современные нерасчлененные биогенные и техногенные образования представлены на участке работ заторфованными грунтами преимущественно глинистого состава. Современные нерасчлененные морские и озерные отложения представлены плотными и средней плотности пылеватыми песками с редкими растительными остатками. Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены тиксотропными ленточными и слоистыми суглинками от текучей до мягкопластичной консистенции. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены супесями пластичной консистенции и легкими суглинками от мягкопластичной до твердой консистенции с включениями гравия, гальки и валунов, с гнездами и линзами песков. Локально грунты

обогащены глинистым материалом подстилающих их верхневендских отложений. Верхневендские отложения представлены твердыми глинами, дислоцированными в кровле.

С этого объекта в расчетах участвуют данные полученные из лабораторных и полевых изысканий верхнечетвертичные озерно-ледниковые представленные коричневыми ленточными суглинками и серыми слоистыми суглинками (lg III) А также верхневендские отложения представлены твердыми дислоцированными глинами.

*Объект 6* располагается в Невском районе г. Санкт-Петербурга.

В ходе изысканий проведено 41 испытание статического зондирования, глубиной от 20,5 до 34,3 м. Общим метражом 1296,8 п. м. Всего пробурена 41 скважина глубиной по 40,0 м. Общий объем бурения составил 1640,0 п.м. Лабораторные работы: проведено 576 определений физико-механических свойств глинистых грунтов ненарушенной структуры.

В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах Приневской низины.

В геологическом строении участка на глубину до 40,0 м принимают участие современные (Q<sub>IV</sub>) техногенные образования (t IV), современные нерасчлененные морские и озерные (m, l IV) отложения, верхнечетвертичные (Q<sub>III</sub>) озерно-ледниковые (lg III) и ледниковые (g III) отложения, среднечетвертичные (Q<sub>II</sub>) озерно-ледниковые (lg II) и ледниковые (g II) отложения.

Современные техногенные образования представлены на участке работ насыпными грунтами – песками пылеватыми с редкими включениями строительного мусора и щебня. Современные нерасчлененные морские и озерные отложения представлены слоистыми тиксотропными пластичными супесями с растительными остатками, с прослоями торфов и заторфованных грунтов. В кровле отложений местами вскрываются рыхлые пылеватые пески, также с растительными остатками. В основании отложений вскрыты выдержанные слои заторфованных и слоистых суглинков. Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены ленточными суглинками и глинами, слоистыми тяжелыми суглинками от текучей до текучепластичной консистенции, слоистыми пластичными и текучими супесями, а также в основании отложений пылеватыми средней плотности и плотными песками. Грунты тиксотропные. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены супесями от пластичной до твердой консистенции, суглинками от мягкопластичной до твердой консистенции, а также плотными пылеватыми песками.

Среднечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены неяснослоистыми тяжелыми и легкими суглинками твердой консистенции (прослоями до

полутвердой), с редким гравием и редкой галькой. Вскрыты практически повсеместно, местами выклиниваются. Среднечетвертичные ледниковые отложения представлены суглинками твердой консистенции и песчанистыми супесями твердой консистенции с прослоями суглинков, также по разрезу отложений отмечены крупные линзы песков. Грунты с включениями гравия, гальки и валунов.

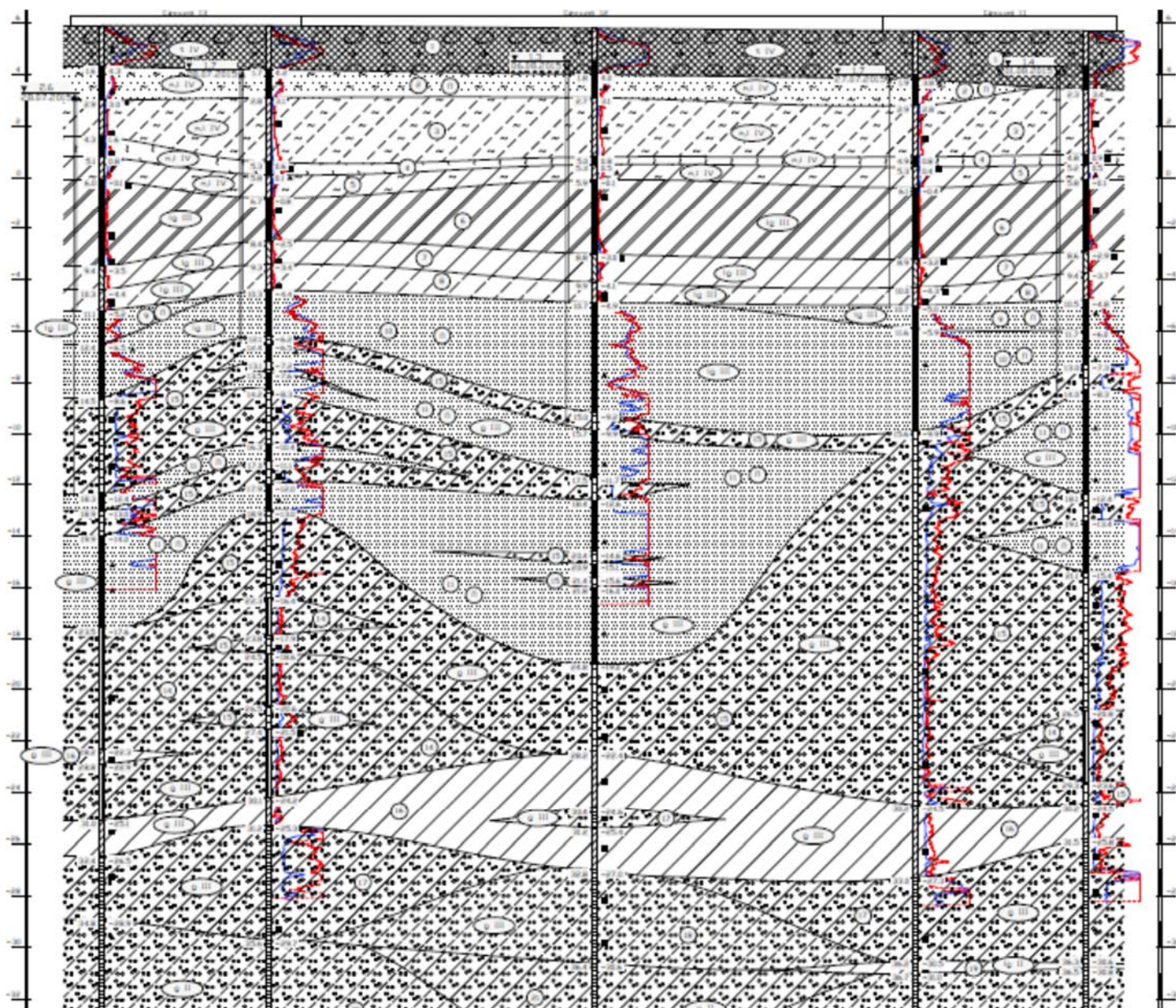


Рис.24. Инженерно-геологический разрез объекта в Невском районе г. Санкт-Петербурга.

Объект 7 располагается во Фрунзенском районе г. Санкт-Петербурга.

В ходе изысканий проведено 3 испытания статического зондирования, глубиной от 27,6 до 29,0 м. Общим метражом 84,7 п. м. Всего пробурено 2 скважины глубиной по 35,0 м. Общий объем бурения составил 75,0 п.м. Лабораторные работы: проведено 18 определений физико-механических свойств грунтов ненарушенной структуры.



В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах южной части Приморской низины. В геологическом строении участка на глубину до 35,0-37,0 м принимают участие современные ( $Q_{IV}$ ) техногенные образования ( $t_{IV}$ ), верхнечетвертичные ( $Q_{III}$ ) озерно-ледниковые ( $lg_{III}$ ) и ледниковые ( $g_{III}$ ) отложения, в основании разреза вскрыты верхневендскими отложениями ( $V_{kt2}$ ).

Современные техногенные образования представлены насыпными грунтами: суглинками легкими и тяжелыми полутвердой и твердой консистенции, с включениями строительного мусора. Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены выветрелыми ожелезненными тяжелыми слоистыми суглинками полутвердой консистенции. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены суглинками от мягкопластичной до твердой консистенции. Отложения с прослоями супесей, с гнездами и линзами песков, с включениями гравия, гальки и валунов. В подошве отложения местами обогащены подстилающими глинами. Верхневендские отложения представлены твердыми глинами, дислоцированными в кровле.

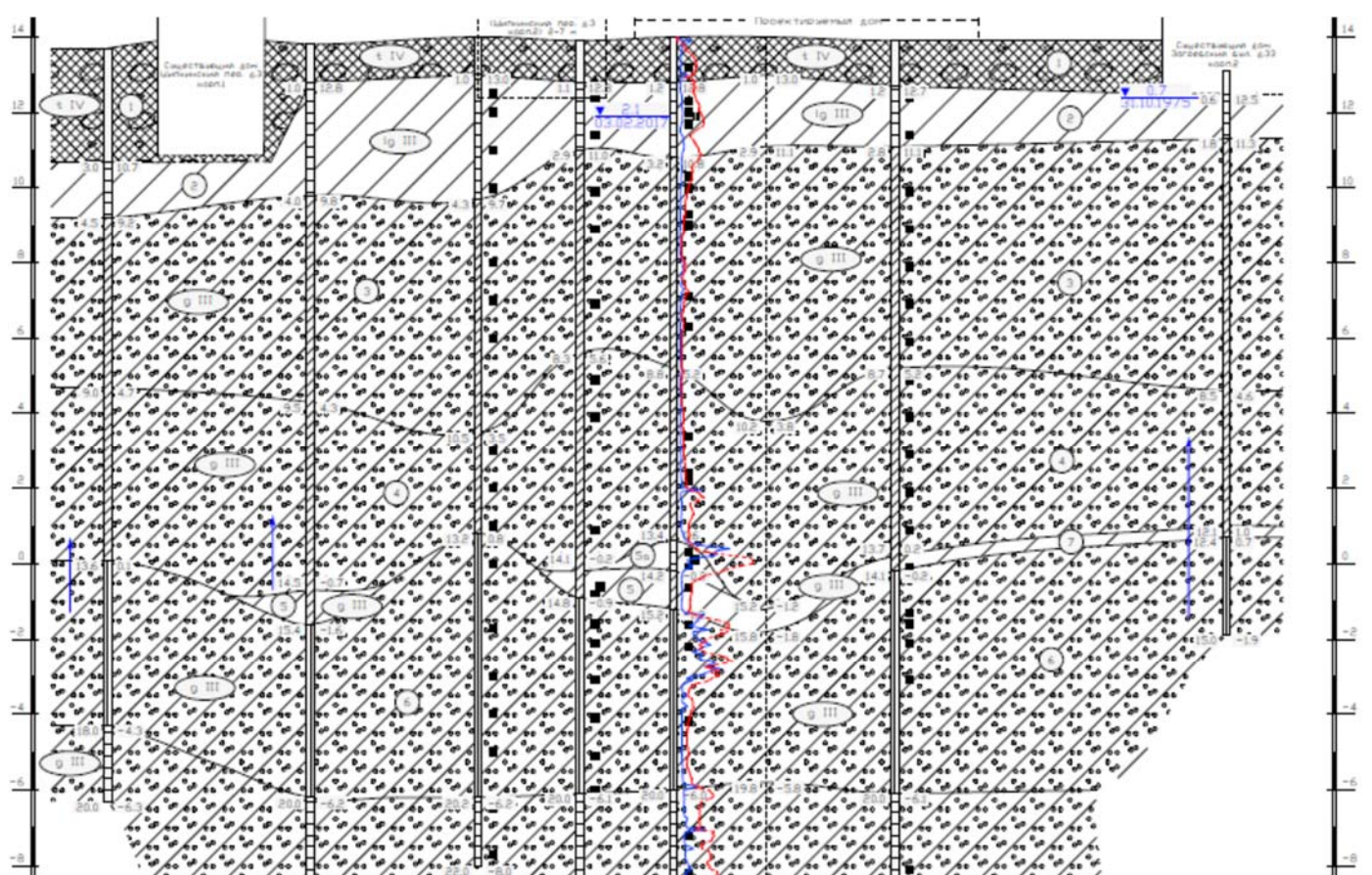


Рис.25. Инженерно-геологический разрез объекта во Фрунзенском районе г. Санкт-Петербурга.

С этого объекта в расчетах участвуют данные полученные из лабораторных и полевых изысканий верхневендских отложений представленные твердыми дислоцированными глинами.

*Объект 8* располагается в Красносельском районе г. Санкт-Петербурга.

В ходе изысканий проведено 39 испытаний статического зондирования. Глубина зондирования составила от 14,4 до 24,3 м. Общий метраж 819,3 п.м. Всего пробурено 22 скважины глубиной от 40,0 до 45,0 м. Общий объем бурения составил 925,0 п.м. Лабораторные работы: проведено 326 определений физико-механических свойств грунтов ненарушенной структуры.

В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах Приморской низины, на намытой и спланированной насыпными грунтами территории. Природный рельеф отсутствует, участок преимущественно ровный, местами изрыт.

Геологическое строение участка на глубину до 45,0 м характеризуется мощной многослойной толщей четвертичных отложений морского и озерного (m, l IV), озерно-ледникового (lg III) и ледникового (g III) генезиса, которая перекрыта современными намытыми и насыпными грунтами (t IV). Подстиляется четвертичный разрез верхневендскими отложениями ( $V_{kl2}$ ).

Четвертичные отложения представлены преимущественно глинистыми грунтами с различными включениями и структурно-текстурными особенностями, а также в верхней части разреза – песчаными разностями. Современные техногенные образования представлены на участке работ намытыми и, в меньшей степени, насыпными грунтами. Современные морские и озерные отложения представлены слоем пылеватых песков, подстилаемые маломощным слоем текучепластичных суглинков. Вскрыты под техногенными грунтами. Верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представлены ленточными тяжелыми суглинками и глинами в текучем состоянии, а так же слоистыми текучепластичными суглинками, причем в кровле озерно-ледникового разреза они ожелезненные и более уплотненные, а в основании исчезает четкая слоистость, суглинки становятся более легкими, появляются одиночные включения гравия и прослой пылеватых песков. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены легкими суглинками от мягкопластичной до твердой консистенций, а так же супесями твердыми, с включениями гравия, гальки и валунов. В подошве ледникового разреза суглинки обогащены подстилающим глинистым материалом Верхневендских отложений. Верхневендских отложений представлены зеленовато-серыми твердыми глинами с прослоями песчаников. В верхней части разреза отмечена дислоцированная зона.

С этого объекта в расчетах участвуют данные полученные из лабораторных и полевых изысканий верхнечетвертичные озерно-ледниковые отложения представленные коричневыми ленточными суглинками и серыми слоистыми суглинками (lg III) и



ледниковые (g III) отложения – супеси твердые с гравием. А также верхневендские отложения представлены твердыми дислоцированными глинами.

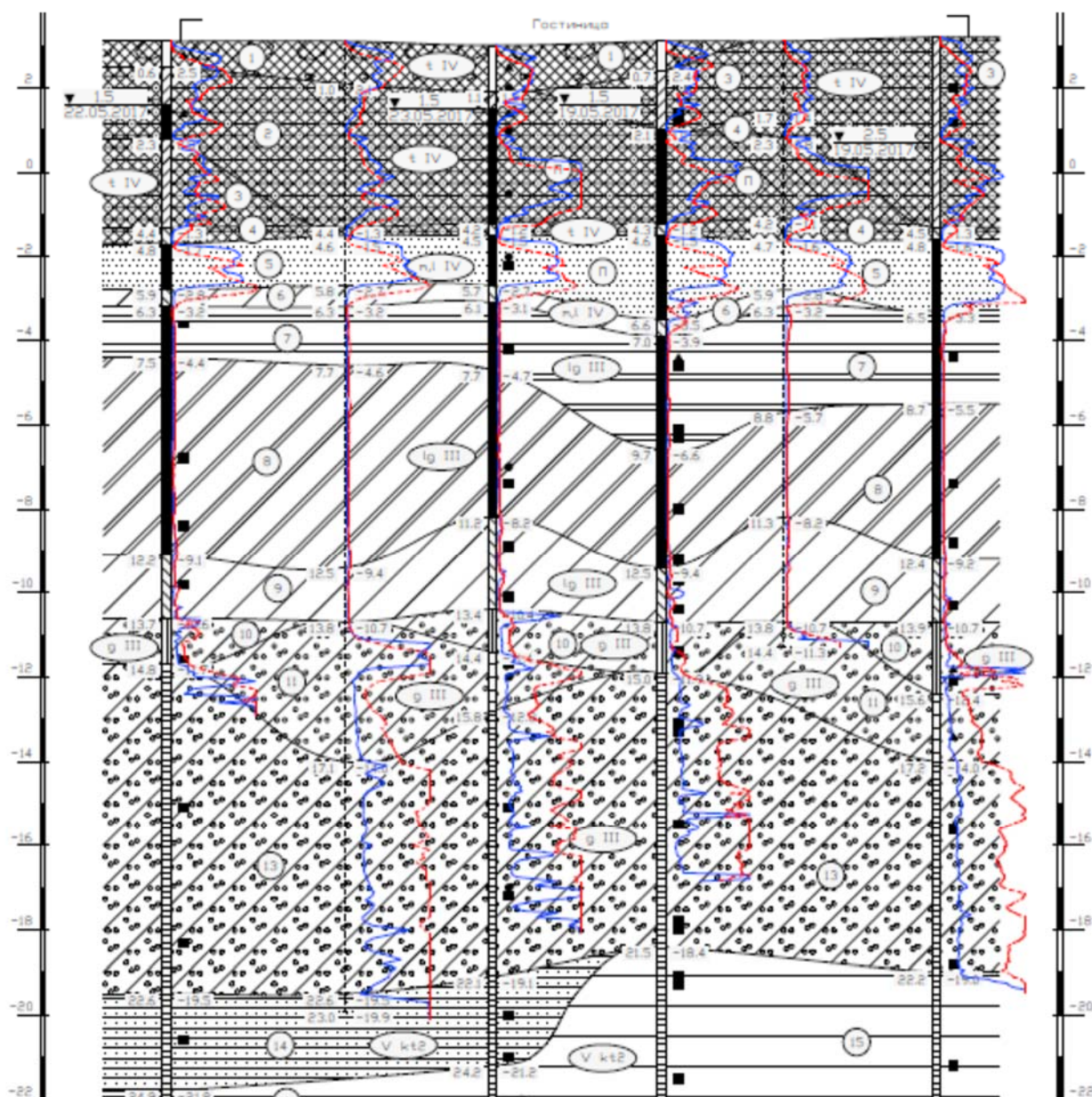


Рис.26. Инженерно-геологический разрез объекта в Красносельском районе г. Санкт-Петербурга.

Объект 9 располагается в Петродворцовом районе г. Санкт-Петербурга.

В ходе изысканий проведено 28 испытаний, глубиной от 2,8 до 21,1 м, общим метражом 316,8 п. м. Всего пробурено 28 скважин глубиной по 30,0 – 35,0 м. Общий объем бурения составил 915,0 п. м. Лабораторные работы: проведено 205 определений физико-механических свойств грунтов ненарушенной структуры.

В физико-географическом отношении рассматриваемая территория относится к северо-западу Прибалтийского региона Русской платформы, располагается в пределах Предглинтовой низменности, на II-й террасе южного побережья Финского залива.

В геологическом строении участка на глубину до 35,0 м принимают участие современные (Q<sub>IV</sub>) техногенные образования (t IV), верхнечетвертичные (Q<sub>III</sub>) ледниковые (g III), флювиогляциальные (f III). Подстиляется четвертичный разрез верхневендскими отложениями (V<sub>kt2</sub>).

Современные техногенные образования представлены насыпными грунтами: песками, супесями, суглинками со строительным мусором. Верхнечетвертичные ледниковые отложения представлены песками средней крупности, суглинками мягкопластичной, полутвердой и твердой консистенции, а также супесями пластичными. Грунты с включениями гравия, гальки и валунов.

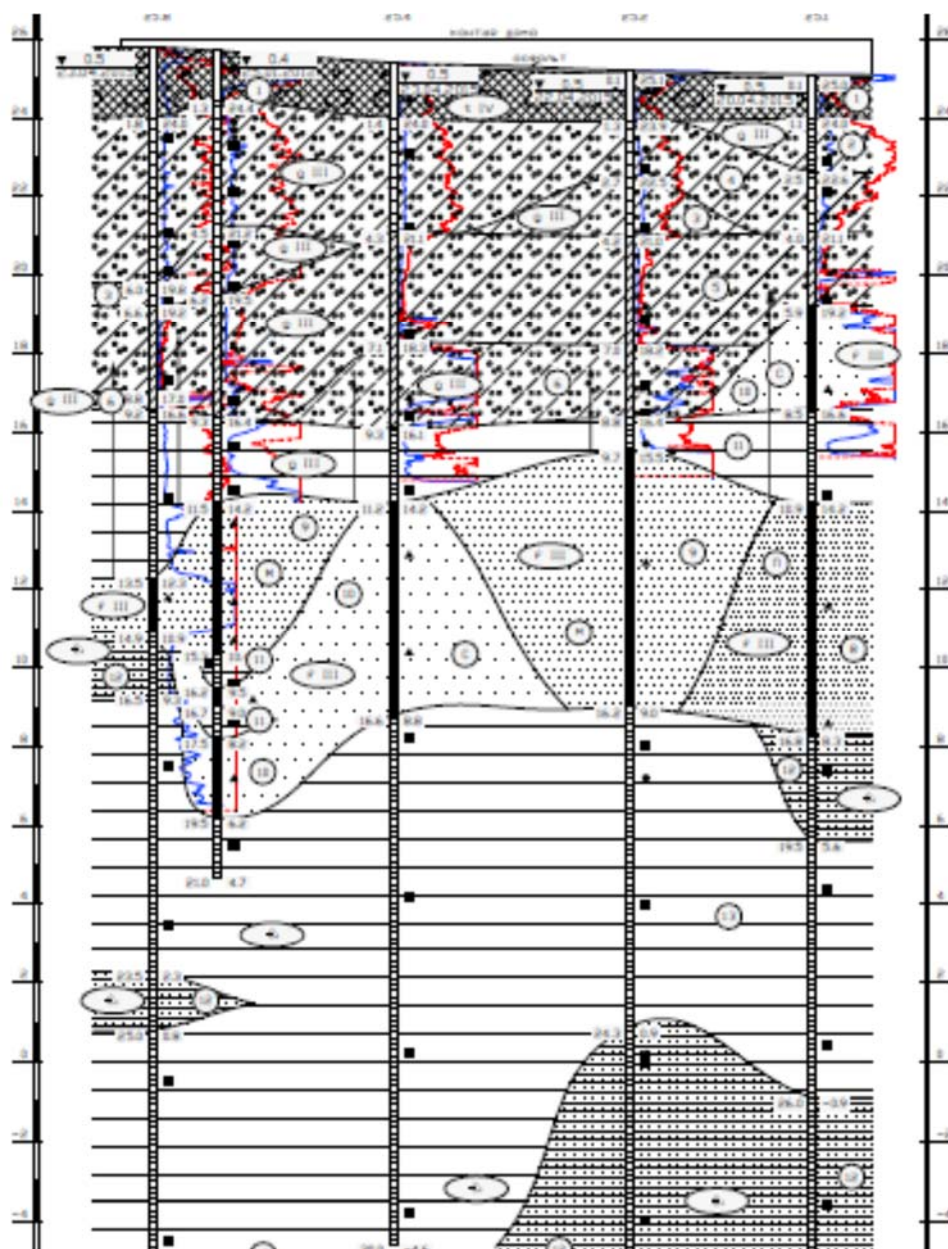


Рис.27. Инженерно-геологический разрез объекта в Петродворцовом районе г. Санкт-Петербурга.

Верхнечетвертичные флювиогляциальные отложения представлены плотными песками разной крупности. Верхневендских отложений представлены зеленовато-серыми



твердыми глинами с прослоями песчаников. В верхней части разреза отмечена дислоцированная зона. С этого объекта в расчетах участвуют данные полученные из лабораторных и полевых изысканий верхневендских отложений представленных твердыми дислоцированными глинами.

В ходе анализа данных статического зондирования выделены 5 общих инженерно-геологических элемента (ИГЭ). ИГЭ 1- верхнечетвертичные озерно-ледниковые (lg III) отложения, представленные коричневыми ленточными суглинками, текучепластичной консистенции. Выделены почти во всех рассмотренных объектах, кроме объекта во Фрунзенском районе (объект 7). Полученные результаты приведены в таблице 6.

	$q_c$ , МПа	$f_s$ , КПа	$R_f$ , %
Среднее	0,78	0,015	2,1
Минимум	0,42	0,010	0,8
Максимум	1,50	0,030	4,5
Кол-во	171	162	171
Коэф.вар.	0,26	0,31	-

Табл.6. Статистически обработанные результаты зондирования ленточных суглинков города Санкт-Петербурга.

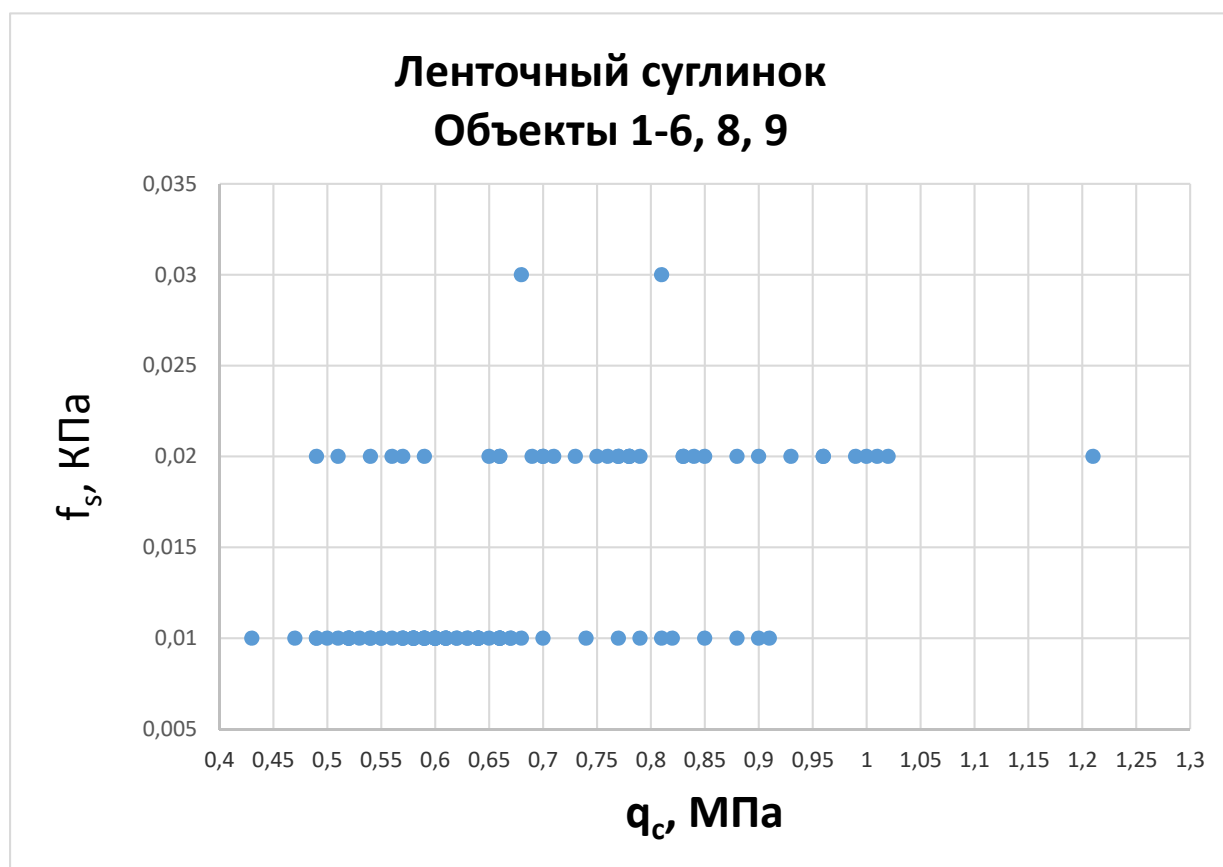


Рис.28. График распределения значений лобового сопротивления( $q_c$ ) относительно значений сопротивления грунта на муфте трения ( $f_s$ ) для ленточных суглинков со всех рассмотренных участков изысканий

При анализе графиков распределения результатов статического зондирования было отмечено территориальное закономерности различия результатов. А именно отмечено, что показатели «лобового» сопротивления у грунтов на участках вблизи метро Девяткино (объект 1,2) и на участке в Невском районе (объект 6) выше, чем на остальных участках изыскания.

	$q_c$	$f_s$	$R_f$
Среднее	0,93	0,018	2,0
Минимум	0,42	0,010	1,0
Максимум	1,50	0,030	3,6
Кол-во	59	57	59
Коэф.вар.	0,14	0,22	

Табл.7. Статистически обработанные результаты зондирования ленточных суглинков с объектов 1;2 и 6.

	$q_c$	$f_s$	$R_f$
Среднее	0,68	0,014	2,1
Минимум	0,43	0,010	0,8
Максимум	1,22	0,030	4,5
Кол-во	106	106	106
Коэф.вар.	0,23	0,31	

Табл.8. Статистически обработанные результаты зондирования ленточных суглинков с объектов 3-5; 7; 9.

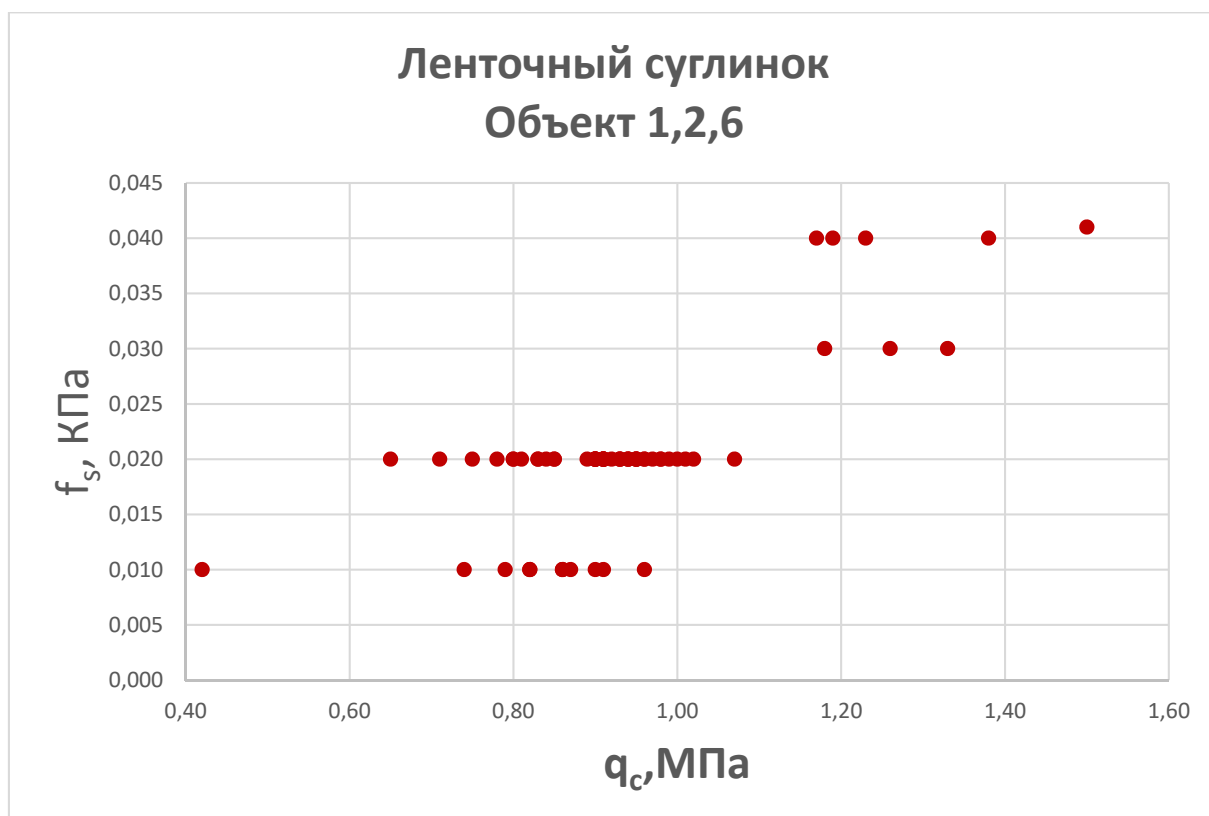


Рис.29. График распределения значений лобового сопротивления( $q_c$ ) относительно значений сопротивления грунта на муфте трения ( $f_s$ ) для ленточных суглинков с участков возле метро Девяткино и Невского района

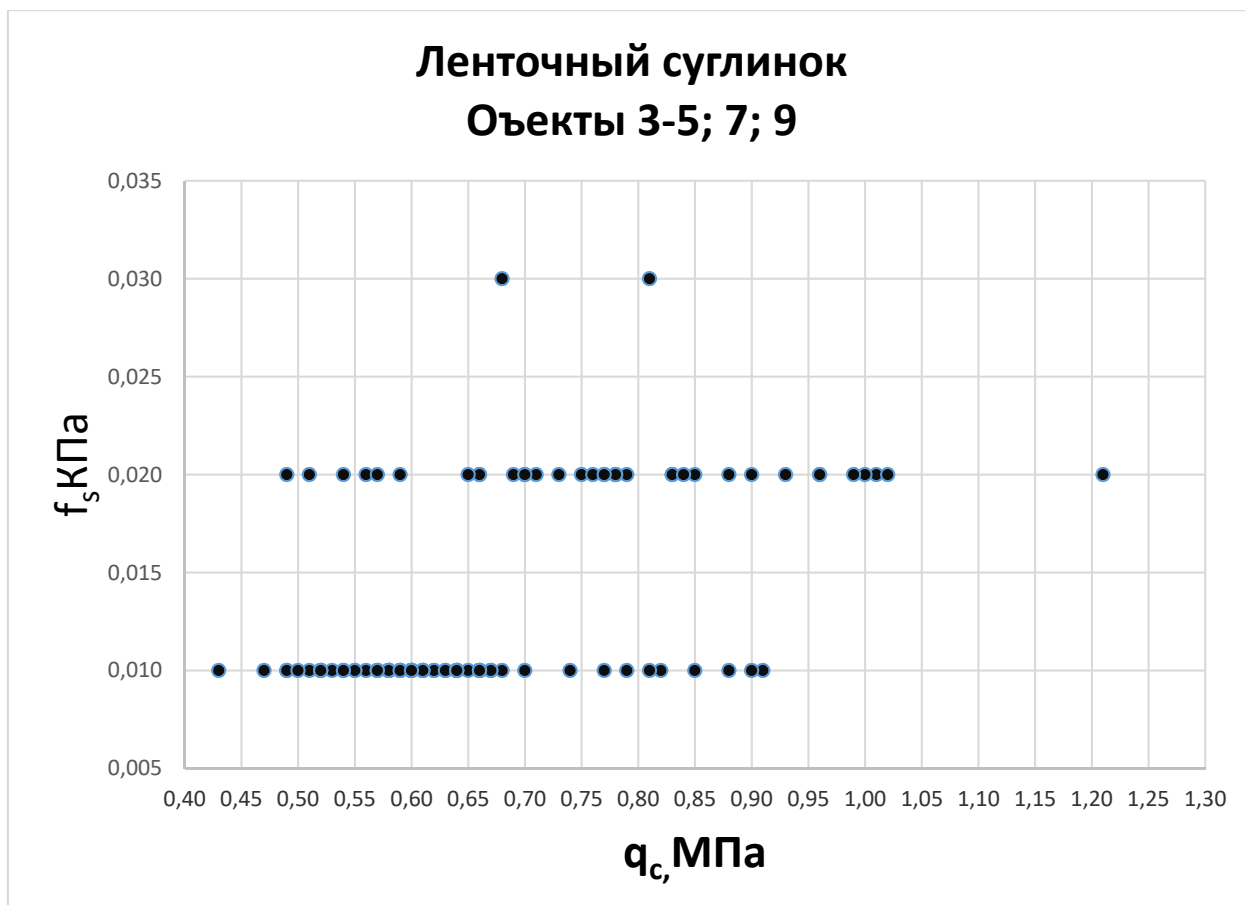


Рис.30. График распределения значений лобового сопротивления( $q_c$ ) относительно значений сопротивления грунта на муфте трения ( $f_s$ ) для ленточных суглинков с остальных участков изысканий

Из приведенных таблиц и графиков распределения результатов статического зондирования следует, что хорошо выдержанный в черте города литологический слой ленточных суглинков имеет видимые отличия в значениях лобового сопротивления.

Далее было решено проследить эту же зависимость на измерениях влажности и плотности, как двух наиболее простых в выполнении, но важных характеристик грунтов. Были отобраны образцы грунта ненарушенного сложения и в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 5180-2015 проведены испытания по определению влажности и плотности данных грунтов. Результаты приведены в таблицах 9 и 10.

	w	$\rho$
Среднее значение	0,39	1,82
Минимум	0,35	1,75
Максимум	0,47	1,86
Количество	54	54
Коэф. Вар.	0,11	0,11

Табл.9. Статистически обработанные результаты лабораторных определений W и  $\rho$  ленточных суглинков с объектов 1, 3, 6.

	w	$\rho$
Среднее значение	0,43	1,79
Минимум	0,39	1,71
Максимум	0,50	1,83
Количество	102	102
Коэф. Вар.	0,14	0,13

Табл.10. Статистически обработанные результаты лабораторных определений W и  $\rho$  ленточных суглинков с объектов 3-5; 7; 9.

После анализа данных лабораторных испытаний становится ясно, что закономерность, подмеченная при обработке результатов статического зондирования верна. Грунты с большей плотностью и влажностью имеют большое значение лобового сопротивления. Тем самым можно судить о точности метода статического зондирования.

Так же в ходе работы определены средние значения для лобового сопротивления и удельное сопротивление грунта на муфте трения для верхневендских отложений - твердых дислоцированных глин и верхнечетвертичных озерно-ледниковых отложений серых слоистых суглинков. Результаты приведены в таблице 11.

Среднее	0,99	0,014	1,4
Минимум	0,49	0,010	0,5
Максимум	1,86	0,044	4,4
Кол-во	171	171	171
Коэф.вар.	0,29	0,35	

Табл.11. Статистически обработанные результаты зондирования серых слоистых суглинков города Санкт-Петербурга.

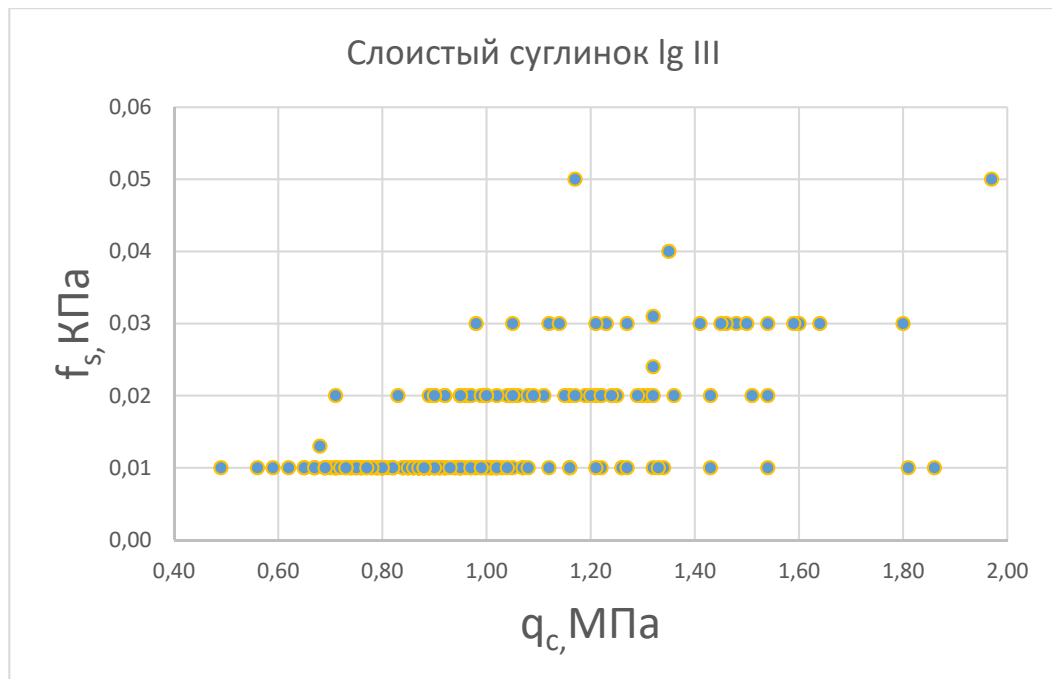


Рис.31. График распределения значений лобового сопротивления( $q_c$ ) относительно значений сопротивления грунта на муфте трения ( $f_s$ ) для слоистых суглинков города Санкт-Петербурга.

Среднее	9,65	0,378	4,33
Минимум	3,84	0,07	1,60
Максимум	16,27	0,57	6,99
Кол-во	42	43	42
Коэф.вар.	0,29	0,35	

Табл.12. Статистически обработанные результаты зондирования верхневендских дислоцированных глин города Санкт-Петербурга.

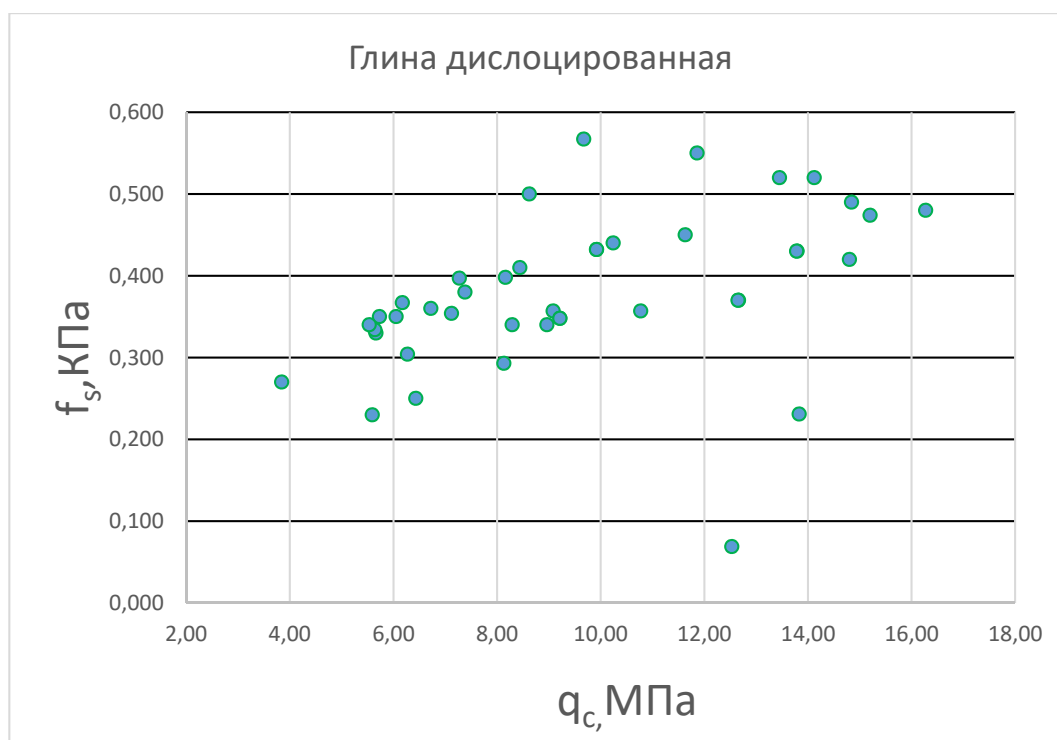


Рис.32. График распределения значений лобового сопротивления( $q_c$ ) относительно значений сопротивления грунта на муфте трения ( $f_s$ ) для верхневендских дислоцированных глин города Санкт-Петербурга.

Для дислоцированных глин верхневендских и верхнечетвертичных слоистых суглинков территориальные зависимости не были выведены. Эти грунты по своей структуре являются неоднородными. Дислоцированные глины могут сильно различаться и в пределах одного участка. Так как данные породы подвергались воздействию и не один раз. Суглинки, в свою очередь, неоднородны ввиду своей слоистости, а также они могут иметь небольшие включения гравия, а этот фактор сильно ухудшает точность значений метода статического зондирования.

В следствии, сложности инженерно-геологического строения города Санкт-Петербурга, часто для подтверждения тех или иных физико-механических характеристик грунтов, полученных лабораторными методами, используют результаты статического зондирования. В соответствии с таблицами из СП 11-105-97 лобовое сопротивление и сопротивление грунта по боковой поверхности можно пересчитать в характеристики физико-механических свойств (Табл.13 и 14).

$q_c$ , МПа	Нормативные значения модуля деформации $E$ , угла внутреннего трения $\varphi$ и удельного сцепления $c$ суглинков и глин (кроме грунтов ледникового комплекса)				
	$E$ , МПа	Суглинки		Глины	
		$\varphi$ , град.	$c$ , кПа	$\varphi$ , град.	$c$ , кПа
0,5	3,5	16	14	14	25
1	7	19	17	17	30

$q_c$ , МПа	Нормативные значения модуля деформации $E$ , угла внутреннего трения $\varphi$ и удельного сцепления $c$ суглинков и глин (кроме грунтов ледникового комплекса)				
	$E$ , МПа	Суглинки		Глины	
		$\varphi$ , град.	$c$ , кПа	$\varphi$ , град.	$c$ , кПа
2	14	21	23	18	35
3	21	23	29	20	40
4	28	25	35	22	45
5	35	26	41	24	50
6	42	27	47	25	55

Табл.13. Определение механических характеристик грунтов по данным статического зондирования  
(СП 11-105-9 прил. И, СП 47.13330-2012)

$q_c$ , МПа	Показатель текучести $I_L$ глинистых грунтов при $f_s$ , МПа										
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20	0,30	0,40	$\geq 0,50$
1	0,50	0,39	0,33	0,29	0,26	0,23	0,20	0,16	–	–	–
2	0,37	0,27	0,20	0,16	0,12	0,10	0,06	0,02	–0,05	–	–
3	0,22	0,16	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	–0,03	–0,06	–
5	0,09	0,04	0,01	0,00	–0,02	–0,03	–0,05	–0,07	–0,09	–0,11	–0,13
8	0,01	–0,02	–0,04	–0,06	–0,07	–0,08	–0,09	–0,11	–0,13	–0,14	–0,15
10	–	–0,05	–0,07	–0,08	–0,09	–0,10	–0,11	–0,13	–0,14	–0,16	–0,17
12	–	–	–0,09	–0,11	–0,11	–0,12	–0,13	–0,14	–0,16	–0,17	–0,18
15	–	–	–	–0,13	–0,14	–0,15	–0,16	–0,17	–0,18	–0,19	–0,20
20	–	–	–	–	–0,17	–0,18	–0,18	–0,19	–0,20	–0,20	–0,21

Табл.14. Определение физических характеристик грунтов по данным статического зондирования  
(СП 11-105-9 прил. И, СП 47.13330-2012)

В ходе данной работы также была составлена таблица сравнения физико-механических свойств, полученных лабораторными определениями и расчетом основывающемся на результатах статического зондирования. В таблицы использованы данные со всех рассмотренных объектов. Для составления данной таблицы (табл.15) были выбраны 5 инженерно-геологических элементов:

1. верхнечетвертичные озерно-ледниковые (lg III) отложения, представленные коричневыми ленточными суглинками;
2. верхнечетвертичные озерно-ледниковые (lg III) отложения, представленные серыми слоистыми суглинками;
3. верхнечетвертичные ледниковые супесями твердой консистенции (значения даны применительно к СП 11-105-97);
4. среднечетвертичные ледниковые супесями твердой консистенции (значения даны применительно к СП 11-105-97);
5. верхневендские дислоцированные глины

	w	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	I <sub>L</sub>	I <sub>L</sub> <sup>*</sup>	E, КПа	E <sup>*</sup> , КПа	C, КПа	$\phi$ ,°	C <sup>*</sup> , КПа	$\phi$ <sup>*</sup> , °
ИГЭ 1	0.399	1,83	0,99	>0.50	2,9	5,5	5	6	18	12
ИГЭ 2	0,311	1,91	0,87	>0.50	4,3	6,5	9	12	20	20
ИГЭ 3	0,099	2,30	-0.36	-0,11	14,0	>42	32	27	>27	>47
ИГЭ 4	0,090	2,31	-0,42	-0,17	26,1	>42	52	32	>27	>47
ИГЭ 5	0,162	2,16	-0,50	-0,19	35,0	>42	89	18	>25	>55

Табл.15. Статически обработанные результаты определений, полученных лабораторными и полевыми методами выбранных типов грунтов города Санкт-Петербурга

(\* - результат, полученный методом статического зондирования)

Анализируя таблицу 15 можно сказать, что к сожалению результаты механических характеристик полученных с помощью расчетов и интерпретации данных для мореных грунтов (ИГЭ 3;4), не рекомендуются к применению в расчетах без их уточнения лабораторными определениями. Как пишет И.Б. Рыжков: «общепринятые механические характеристики являются условными, и они ничто иное как параметры принимаемых математических моделей грунта (C,  $\phi$  – сыпучей среды, E- линейно-деформируемой)». На данный момент не существует общепринятой единой математической модели для точного описания свойств ледниковых отложений. Как правило, моренные отложения представляют из себя неоднородную смесь пластичных глинистых грунтов и твердых включений гравия и валунов. И эти включения имеют значительно большую плотность и меньшую влажность по сравнению с глинистым матриксом, а также размещаются не упорядочено во всей структуре. В связи с чем сильно искажают получаемые характеристики. Следовательно, метод статического зондирования не может точно отобразить реальные физико-механические характеристики данных грунтов.

Главные показатели механических свойств, а это модуль деформации, удельное сцепление грунта, угол внутреннего трения невозможно рассчитать по данным статического зондирования выше определенного значения. Показатель консистенции также рассчитывается в определенном диапазоне. Это связано как с не полностью имеющихся таблиц для перевода значений, так и с ограничениями метода зондирования по плотности изучаемых грунтов.

В результате можно сделать следующие выводы: методы лабораторного изучения грунтов нуждаются в уточнении полевыми методами. Более эффективно использование результатов зондирования совместно с более точными и соответственно более трудоемкими лабораторными методами. Результаты проведенного анализа позволяю



считать зондирование универсальным методом. Сопротивление грунта под конусом зонда может рассматриваться как обобщенное отражение механических процессов в грунте.

Также несмотря на различия получаемых результатов механических характеристик полевыми и лабораторными методами наблюдается их закономерные изменения. При большем количестве собранного и проанализированного материала считаю возможным определения данных закономерностей и получения точных коэффициентов перевода характеристик, полученных разными методами.

Лабораторное изучение грунтов, в свою очередь, также должны дублироваться полевыми методами исследования грунтов, для понимания процессов, проходящих в ненарушенном грунтовом массиве. Влияния вмещающей среды играет важную роль при изучении свойств участка.

Только при анализе полных, грамотно спланированных и выполненных результатах можно получить значения близкие к истинным.

## **Заключение.**

Результаты анализа полученных материалов подтверждают сложность геологического строения Санкт-Петербурга, многообразие и отличие грунтов.

Сложные инженерно-геологические условия, такие как тиксотропные текучие грунты, большое количество разрывных нарушений в подстилающих толщах, а также близость грунтовых вод к поверхности и прочие неблагоприятные факторы принуждают к постоянному совершенствованию методов изучения грунтов Санкт-Петербурга. Для повышения точности инженерных изысканий в нашем регионе следует постоянно анализировать данные получаемые при исследовании физико-механических свойств грунтов.

Проанализировав полученные в ходе трудовой деятельности данные и проведя дополнительные работы определены средние значения получаемых характеристик статического зондирования для некоторых типов грунтов Санкт-Петербурга. Также определена территориальная зависимость изменения физико-механических характеристик грунтов. В ходе расчетов и сравнении этих данных определены особенности влияния состава грунта на его свойства. А также даны рекомендации по обобщению и выбору методов для изучения массива грунта.

В дальнейшем, в ходе работы на различных объектах Санкт-Петербурга предполагается дополнительный сбор данных для подтверждения существующих закономерностей и взаимосвязей результатов определения характеристик грунтов, полученных различными лабораторными и полевыми методами.

## **Список литературы.**

### *Монографии:*

1. Robertson, P.K. Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. California, 2010.
2. Lunne T., Robertson, P.K and Powell J.J., M. Cone penetration testing in geotechnical practice. London and New York, 2004-312p.
3. Геологический атлас Санкт -Петербурга, СПб, 2009, - 57 с.
4. Васильчук Ю.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С., Королев В.А., Трофимов В.Т. Грунтоведение, Издание 6, Москва, 2005 г., - 1024 стр.
5. Болдырев Г.Г., Малышев М.В. Механика грунтов. Основания и фундаменты. Пенза, 2009,- 412 с.
6. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов, Москва, 2005,-488 с.
7. Захаров М.С. Статическое зондирование в инженерных изысканиях. Санкт-Петербург, 2007.
8. Захаров М.С. Проблемы инновационного развития статического зондирования. Санкт-Петербург, 2010.
9. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов, Москва, 2010-496 с.

### *Нормативные документы:*

1. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. М., 2010 г.
2. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторных определений физических характеристик
3. ГОСТ 12248-2010 "Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости"
4. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
5. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
6. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I
7. ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге.
8. ГОСТ 19912-2012. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.

*Статьи в журналах:*

1. Амантов А.В., Жамойда В.А., Мануйлов С.Ф., Спиридонов М.А. и др. Компьютерный атлас «Геология и полезные ископаемые восточной части Финского залива». Региональная геология и металлогения, 2002, №15, стр. 120-132.
2. Бутылин В.П., Спиридонов М.А., Шурыгин А.Г. и др. Результаты и перспективы развития геоэкологических исследований в Финском заливе и дельте Невы // Проблемы геоэкологии акваторий и побережий. СПб., 1991. С. 81-85.
3. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. "Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство, 2011.
4. Мельников Р. В. Компрессионные испытания грунта как способ определения параметров модели Hardening Soil// Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН 4,2014 С.90-94.
5. Болдырев Г.Г., Новичков Г.А. Опыт определения модуля деформации грунтов в полевых и лабораторных условиях, Пенза, 2008.
6. Болдырев Г.Г., Гордеев А.В., Арефьев Д.В. Определение деформационных характеристик грунтов в полевых и лабораторных условиях, Пенза, 2009.

*Фондовые материалы:*

1. Технический отчет. О результатах инженерно-геологических изысканий на объекте: «Гостиница со встроенно-пристроенными помещениями и встроенно-пристроенным гаражом» по адресу: г. Санкт-Петербург, Красносельский район.
2. Технический отчет. О результатах инженерно-геологических изысканий на объекте: «Проектирование строительства многоквартирного дома со встроенными помещениями по адресу: г.Санкт-Петербург, Фрунзенский район.
3. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий «Жилой комплекс со встроенными помещениями и встроенно-пристроенным подземным объектом гражданского назначения» по адресу: г. Санкт-Петербург, Приморский район.
4. Технический отчет. О результатах инженерно-геологических изысканий на объекте: «Жилой дом со встроенными помещениями и подземной автостоянкой» адрес: г. Санкт-Петербург, Центральный район.

5. Технический отчет. О результатах инженерно-геологических изысканий на объекте: «Многоквартирный дом со встроенно-пристроенным гаражом» по адресу: Ленинградская область, пос. Мурино.
6. Технический отчет. О результатах инженерно-геологических изысканий на объекте: «Многоквартирный дом со встроенно-пристроенным гаражом» по адресу: Ленинградская область, дер. Новое Рыбацкое.
7. Технический отчет. О результатах инженерно-геологических изысканий на объекте: «Многоквартирный дом со встроенными помещениями, встроенное детское дошкольное учреждение, подземная автостоянка на земельном участке с кадастровым номером 78:36:0535301:4, по адресу: г. Санкт-Петербург, Выборгский район.
8. Технический отчет. О результатах инженерно-геологических изысканий на объекте: «Многоквартирные дома со встроенными помещениями и подземной встроенно-пристроенной автостоянкой на участке, расположенном по адресу: г. Санкт-Петербург, Ломоносов кадастровый номер 78:40:0020513:2.
9. Технический отчет. О результатах инженерно-геологических изысканий на объекте: «Многоквартирные дома со встроенными помещениями и подземной встроенно-пристроенной автостоянкой на участке, расположенном по адресу: г. Санкт-Петербург, Невский район.

*Интернет ресурсы:*

1. [www.gov.spb.ru](http://www.gov.spb.ru)
2. [www.yandex.map.ru](http://www.yandex.map.ru)